

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์  
DESIGN AND DEVELOPMENT OF MODULAR MOBILE  
ROBOT SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์  
DESIGN AND DEVELOPMENT OF MODULAR MOBILE  
ROBOT SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DESIGN AND DEVELOPMENT OF MODULAR MOBILE ROBOT SYSTEM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์  
DESIGN AND DEVELOPMENT OF MODULAR MOBILE  
ROBOT SYSTEM

นักศึกษา

นายวศิน นาจอมทอง รหัสประจำตัว 58011129

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์

(ดร.พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

นักศึกษา

หลักสูตร

ปีการศึกษา

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์

นายวศิน นาจอมทอง

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2561

ดร.พลชัย โชติปราชญกุล

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์เคลื่อนที่หรือรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติมีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ค่อนข้างน้อยและชิ้นส่วนที่เป็นระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ เช่น มอเตอร์ ล้อหรือสายพาน ถูกประกอบเข้าด้วยกันอย่างซับซ้อน หากต้องการบำรุงรักษาหรือซ่อมบำรุงต้องทำการถอดชิ้นส่วนหุ่นยนต์และทำการประกอบใหม่ ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา รวมไปถึงต้นทุนเวลาหยุดงานจากการเสียของเครื่องจักร ปริญญานิพนธ์เรื่องการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างล้อหุ่นยนต์ สำหรับฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ ในลักษณะการทำงานของล้อตีนตะขาบที่มีน้ำหนัก 10.28 กิโลกรัมสามารถแบกรับน้ำหนักได้ถึง 20 กิโลกรัมที่ความเร็ว 0.21 เมตรต่อวินาที มีความสามารถในการตอบสนองต่อการซ่อมบำรุงรักษา โดยล้อหุ่นยนต์ออกแบบด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค ซึ่งภายในชุดล้อประกอบด้วยมอเตอร์ เฟือง พลูเลย์ และสายพาน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนฐานหุ่นยนต์ ไขวัสดุในการสร้างได้แก่ อะลูมิเนียมและเหล็ก โดยใช้กระบวนการตัดและกระบวนการทางเครื่องจักรกลในการสร้าง ส่วนการทดสอบการใช้งานของหุ่นยนต์ทดสอบโดยวัดค่าน้ำหนักที่หุ่นยนต์สามารถรับน้ำหนักได้ เมื่อเคลื่อนที่ล้อหุ่นยนต์พร้อมกับน้ำหนักที่บรรทุก อย่างไรก็ตามการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ยังสามารถพัฒนาต่อไปในอนาคตได้

Thesis Title	Design and Development of Modular Mobile Robot System
Student	Mr. Vasin Nachomthong
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Dr. Pholchai Chotiprayanakul

## ABSTRACT

In the current, AGVs and mobile robots are normally not prepared for preventative maintenance scheme. The driving system includes motor and wheel or belt track wheel are orderly complexes assembled. In order to maintenance or repair, the robot must be disassembled to reassembled. The resulting costs and the cost of maintenance. This will cost maintenance down time. This thesis on Design and Development of a modular mobile robot System. The objective is to design and build a wheel unit for a modular mobile robot in a shape of belt track wheel under the requirement of 10.28 kilograms carry load 20 kilograms at velocity 0.21 m/s and the robot must have low changing time and provide a preventive maintenance ability. The robot is designed with SolidWorks software. The robot includes frame, pulleys, gears, motor and belt track wheel. In order to drive the robot. Most of its parts are made of aluminum and some made of steel by cutting and machining. The practical performance is tested by energizing the wheel and measure moving and weight carry the load. However, controlling the movement of the robot can continue to develop in the future.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.พลชัย โชติปราชญกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ทั้งคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความรู้ต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ รวมทั้งความใส่ใจและการเสียสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำปริญญาานิพนธ์นี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

นายกำธร สุขพิมาย เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ทุกๆ ด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ขอบคุณเพื่อนๆและรุ่นน้องทุกคนสำหรับความช่วยเหลือต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนทำให้ปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายวศิน นางอมทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	3
2.1.1 การขับเคลื่อนแบบ Differential Drive.....	3
2.1.2 การขับเคลื่อนแบบ Skid Steer.....	4
2.1.3 การเคลื่อนที่แบบ Ackermann Steering.....	4
2.1.4 การเคลื่อนที่แบบ Articulate Drive.....	5
2.1.5 การเคลื่อนที่แบบ Synchro Drive.....	5
2.1.6 การเคลื่อนที่แบบ Swerve Drive.....	5
2.1.7 การเคลื่อนที่แบบ Singularity Drive.....	6
2.1.8 การเคลื่อนที่แบบ Omni Drive.....	7
2.1.9 การเคลื่อนที่แบบ Mecanum Drive.....	7
2.2 องค์ประกอบของฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	8
2.2.1 อุปกรณ์ทางกล (Mechanic).....	8
2.2.2 อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Actuator).....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Equipment) .....	18
2.3 การคำนวณแรงในการบิด กำลัง และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	20
<b>บทที่ 3</b> วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์ .....	22
3.1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ในการสร้างหุ่นยนต์ .....	22
3.1.2 กำหนดขอบเขตของหุ่นยนต์ .....	22
3.1.3 ออกแบบหุ่นยนต์ที่ตอบสนองตามวัตถุประสงค์ .....	23
3.1.4 การเลือกวัสดุอุปกรณ์ .....	23
3.1.5 ออกแบบชุดล้อหุ่นยนต์โมดูลาร์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์.....	25
3.2 ขั้นตอนการสร้าง .....	27
3.2.1 พลุเลย์ (Pulley) แบบเดิม .....	27
3.2.2 เพลา (Shaft) .....	28
3.2.3 แผ่นโครงประกอบ (Guard).....	29
3.2.4 แผ่นประกบด้านบน (Upper-plate) แบบเดิม .....	29
3.2.5 แผ่นประกบด้านล่าง (Lower-plate).....	29
3.2.6 ท่อประกอบตัวถัง (Tube).....	30
3.2.7 แหวนรอง (Spacer).....	30
3.3 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบใหม่ .....	31
3.3.1 พลุเลย์ (Pulley) แบบใหม่.....	31
3.3.2 แผ่นประกบด้านบน (Upper-plate) แบบใหม่.....	32
3.4 การประกอบชุดล้อหุ่นยนต์ .....	33
3.5 ขั้นตอนการทดสอบ และวัดผล.....	34
3.5.1 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่.....	34
<b>บทที่ 4</b> ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่ .....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปลผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปลผลการดำเนินงาน.....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	37
เอกสารอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก.....	ผ1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานของโมดูล (หน่วยเป็นมิลลิเมตร) .....	14
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่.....	35
ตารางที่ ๘.1 รายการชิ้นส่วนต่างๆ ของชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	๘1



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่แบบ Differential Drive .....	3
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่แบบ Skid Steer.....	4
รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่แบบ Ackermann Steering .....	4
รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบ Articulate Drive.....	5
รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่แบบ Synchro Drive.....	5
รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่แบบ Swerve Drive .....	6
รูปที่ 2.7 รูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Singularity Drive .....	6
รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่แบบ Omni Drive .....	7
รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่แบบ Macanum Drive .....	7
รูปที่ 2.10 เพลารธรรมดาทั่วไป.....	9
รูปที่ 2.11 เพลาสไปลัน.....	9
รูปที่ 2.12 เพลาช้อเหวี่ยง.....	10
รูปที่ 2.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเฟืองขับและเฟืองตาม.....	10
รูปที่ 2.14 การทำงานของเฟืองตรงภายนอกและเฟืองตรงภายใน.....	11
รูปที่ 2.15 การทำงานของเฟืองสะพาน โดยเฟืองตรงเป็นเฟืองขับ .....	11
รูปที่ 2.16 การทำงานของเฟืองเฉียงและเฟืองก้ำปลา.....	11
รูปที่ 2.17 การทำงานของเฟืองดอกจอกและเฟืองดอกจอกฟันโค้ง .....	12
รูปที่ 2.18 เฟืองส่งกำลังเพลาช้าม.....	13
รูปที่ 2.19 สายพานแบน .....	15
รูปที่ 2.20 สายพานวี.....	15
รูปที่ 2.21 สายพานฟัน .....	16
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างขนาดสายพานฟันมาตรฐาน.....	16
รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของแบริ่ง .....	17
รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
รูปที่ 3.1 มอเตอร์ที่เลือกใช้งาน.....	23
รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของสายพาน Timing belt .....	24
รูปที่ 3.3 สายพาน Timing belt ที่เลือกใช้.....	24

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.4 แบร็งที่เลือกใช้ .....	25
รูปที่ 3.5 ชุดล้อตีนตะขาบ .....	25
รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญของชุดล้อตีนตะขาบ .....	26
รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบภายในที่สำคัญของชุดล้อตีนตะขาบ .....	26
รูปที่ 3.8 ขณะกลิ้งเพลอะลูมิเนียมต้น .....	27
รูปที่ 3.9 พลุเลย์ .....	27
รูปที่ 3.10 ขณะกลิ้งเพล .....	28
รูปที่ 3.11 เพลทั้ง 2 ขนาด .....	28
รูปที่ 3.12 แผ่นโครงประกอบ (Guard) .....	29
รูปที่ 3.13 แผ่นประกบด้านบน .....	29
รูปที่ 3.14 แผ่นประกบด้านล่าง .....	29
รูปที่ 3.15 ท่อประกอบตัวถัง (Tube) .....	30
รูปที่ 3.16 แหวนรอง (Spacer) .....	30
รูปที่ 3.17 พลุเลย์แบบใหม่ .....	31
รูปที่ 3.18 แผ่นประกบด้านบนแบบใหม่ .....	32
รูปที่ 3.19 การประกอบชุดล้อหุ่นยนต์ .....	33
รูปที่ 3.20 ชุดล้อหุ่นยนต์ที่เสร็จสมบูรณ์ .....	33
รูปที่ 3.21 ขณะทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่ .....	34

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของปริญญา นิพนธ์และ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพบว่าเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในด้านอุตสาหกรรมมากขึ้นและหุ่นยนต์เป็นเทคโนโลยีที่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเหตุผลของการสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาเพื่อทำงานแทนมนุษย์ซึ่งกำลังขาดแคลน แรงงานเลิกงานมากขึ้น และค่าแรงที่ปรับตัวสูงขึ้น หุ่นยนต์ที่ควบคุมโดยระบบอัตโนมัติ จะช่วยเพิ่มความเร็วในการทำงานและมีความแม่นยำในการทำงานสูงกว่ามนุษย์ ลดความเมื่อยล้า เพิ่มความปลอดภัยของมนุษย์ในการเข้าถึงพื้นที่และกระบวนการผลิตที่อันตราย ตลอดจนสามารถควบคุมคุณภาพให้มีความสม่ำเสมอเป็นมาตรฐานเดียวกัน ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมนำหุ่นยนต์มาใช้งานมากขึ้น

การใช้งานหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในภาคอุตสาหกรรม สามารถใช้ระบบการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันได้น้อย เนื่องจากความเสียหายมักเกิดจากอุบัติเหตุ หรือการทำงานในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ซึ่งผู้ศึกษาเห็นว่าชุดล้อ หุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์สามารถซ่อมบำรุงได้ทันทีไม่ต้องย้ายหุ่นยนต์ออกจากบริเวณการทำงานซึ่งช่วยลดเวลาในการซ่อมบำรุง และยังตอบสนองต่อภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการลดเวลาการหยุดงานจากการเสียหายของเครื่องจักรลง

ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ เนื่องจากสามารถเคลื่อนที่บนผิวขรุขระหรือพื้นที่ต่างระดับได้ โดยใช้ระบบล้อสายพาน สามารถรับน้ำหนักบรรทุกและลากจูงได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฐานหุ่นยนต์ระบบล้อ จากนั้นจึงทำการสร้างชุดล้อหุ่นยนต์และนำไปทดสอบการเคลื่อนที่ให้สามารถทำงานได้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์
2. ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ที่สร้างขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ด้วยโปรแกรม Solidworks
2. สร้างหุ่นยนต์ที่มีน้ำหนักไม่เกิน 10 กิโลกรัม
3. หุ่นยนต์สามารถรับน้ำหนักบรรทุก และแรงลากจูงของหุ่นยนต์ได้ 50 กิโลกรัม

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับต้นแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์
2. นำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมแทนแรงงานมนุษย์
3. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาหุ่นยนต์ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษา และการออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. รูปแบบการเคลื่อนที่ของฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่
2. องค์ประกอบของฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่
3. การคำนวณแรงในการบิด กำล้ง และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยหลักแล้วจะพิจารณาออกแบบตามวัตถุประสงค์การใช้ และสภาพการทำงานของหุ่นยนต์เป็นสำคัญ โดยรูปแบบการเคลื่อนที่ของฐานหุ่นยนต์สามารถจำแนกได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ได้แก่ การเคลื่อนที่โดยใช้ขา การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อและสายพาน และการเคลื่อนที่อื่นๆ เช่น การเคลื่อนที่โดยใช้ใบพัด การเคลื่อนที่ในน้ำ เป็นต้น

#### 2.1.1 การขับเคลื่อนแบบ Differential Drive

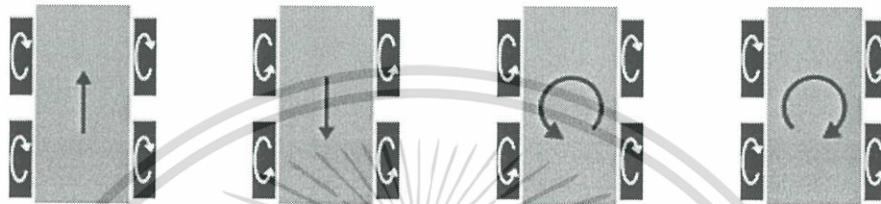
การขับเคลื่อนแบบ Differential Drive เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ด้วยล้อที่ง่ายที่สุดคือ มีล้อ 2 ล้อ ล้อซ้าย และล้อขวา ถ้าต้องการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตรงๆ ก็หมุนล้อซ้าย และขวาไปทางเดียวกันด้วยความเร็วเท่ากัน เมื่อต้องการถอยหลังตรงๆ ก็หมุนล้อซ้าย และขวาถอยหลังทั้งคู่ ถ้าต้องการเลี้ยวซ้ายจะหมุนล้อขวาไปข้างหน้าให้เร็วกว่าล้อซ้าย และถ้าต้องการเลี้ยวขวาก็หมุนล้อซ้ายไปข้างหน้าให้เร็วกว่าล้อขวา หรือสามารถหมุนตัวอยู่กับที่ได้โดยการหมุนล้อข้างหนึ่งไปข้างหน้า และล้ออีกข้างหมุนกลับหลังด้วยความเร็วเท่ากัน



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่แบบ Differential Drive [14]

### 2.1.2 การขับเคลื่อนแบบ Skid Steer

การขับเคลื่อนแบบ Skid Steer ใช้หลักการเดียวกันกับการขับเคลื่อนแบบ Differential Drive ต่างกันตรงที่ Skid Steer จะใช้เรียกกับหุ่นยนต์ที่ใช้มากกว่า 2 ล้อ และล้อติดตะขาบ เนื่องจากในหุ่นยนต์ที่มีล้อหลายๆ หรือสายพานติดตะขาบ เวลาเลี้ยวหรือหมุนตัวจะเกิดลื่นไถล (Slip) บนล้อเทียบกับพื้น ทำให้ใช้พลังงานในการเลี้ยวเยอะกว่า Differential Drive แต่ด้วยล้อที่มากกว่า และพื้นที่สัมผัสพื้นที่มากกว่า ทำให้มีแรงขับเคลื่อนมากกว่า



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่แบบ Skid Steer [14]

### 2.1.3 การเคลื่อนที่แบบ Ackermann Steering

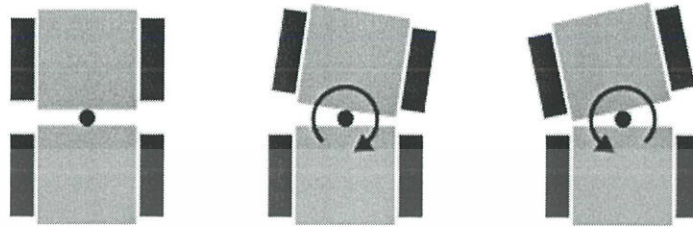
การเคลื่อนที่ชนิดนี้คือการเคลื่อนที่แบบรถยนต์ โดยมีล้อขับเคลื่อนและล้อเลี้ยว (ล้อเลี้ยวอาจจะเป็นล้อเดียวกับล้อขับเคลื่อนก็ได้ ในกรณีนี้จะต้องมีล้อหมุนอิสระคอยประคองด้วย เหมือนรถขับเคลื่อนล้อหน้า) คือเวลาเลี้ยวจะทำการหมุนล้อเลี้ยวให้ตั้งฉากกับเส้นที่ลากไปสู่จุดศูนย์กลางการเลี้ยว เพื่อให้ล้อทุกล้อเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งของการเคลื่อนที่โดยไม่มีการไถล การที่ต้องหมุนล้อไปมาเพื่อเลี้ยว ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ไปทิศใดๆ



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่แบบ Ackermann Steering [14]

### 2.1.4 การเคลื่อนที่แบบ Articulate Drive

การเคลื่อนที่ชนิดนี้จะคล้ายกับ Ackermann Steering แต่จะหมุนล้อเลี้ยวไปด้วยกันทั้งคู่ชุด ตัวอย่างเช่น หุ่นยนต์ตีนตะขาบหลายท่อน



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบ Articulate Drive [14]

### 2.1.5 การเคลื่อนที่แบบ Synchro Drive

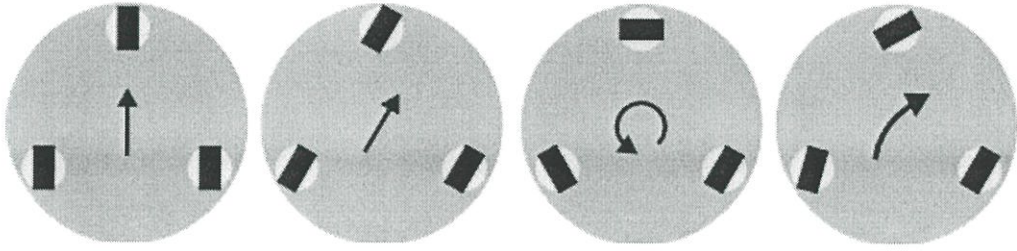
การเคลื่อนที่แบบ Synchro Drive เป็นการขับเคลื่อนที่ล้อทุกล้อหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน และมีกลไกบังคับเลี้ยวล้อทุกล้อไปในทิศต่างๆ พร้อมกัน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศใดๆ ก็ได้ แต่จะไม่สามารถหมุนเลี้ยวรอบตัวเองได้



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่แบบ Synchro Drive [14]

### 2.1.6 การเคลื่อนที่แบบ Swerve Drive

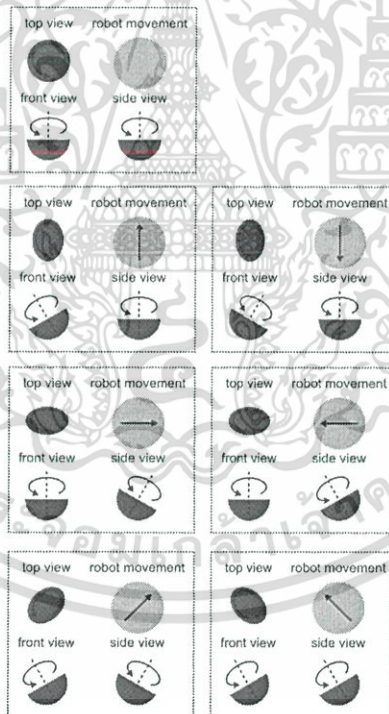
การเคลื่อนที่ชนิดนี้มีคล้ายกับการเคลื่อนที่แบบ Synchro Drive ต่างกันตรงที่ล้อทุกล้อของ Swerve Drive สามารถหมุนเลี้ยวได้เป็นอิสระต่อกันทำให้เคลื่อนที่ไปทิศใดๆ ก็ได้ และสามารถหมุนรอบตัวเองได้



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่แบบ Swerve Drive [14]

### 2.1.7 การเคลื่อนที่แบบ Singularity Drive

การเคลื่อนที่แบบ Singularity Drive จะใช้ล้อตรงส่วนของทรงกลมหมุนให้การหมุนตั้งฉากกับพื้น จุดที่ล้อสัมผัสกับพื้นจะมีความเร็วเป็นศูนย์ ถ้าต้องการเคลื่อนที่ไปทิศทางใดจะใช้การเอียงล้อ ทำให้จุดที่ล้อสัมผัสกับพื้นมีความเร็วไม่เป็นศูนย์ การเอียงล้อทรงกลมไปยังทิศต่างๆ ทำให้เกิดแรงผลักรบนพื้นในทิศต่างๆ ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศใดๆ ก็ได้



รูปที่ 2.7 รูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Singularity Drive [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.8 การเคลื่อนที่แบบ Omni Drive

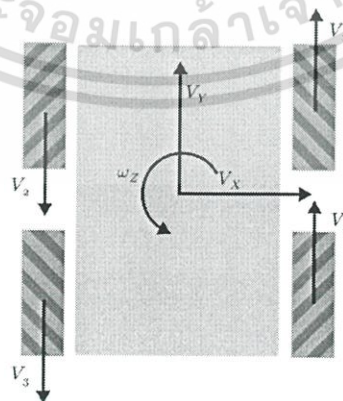
ล้อของ Omni Drive จะพิเศษคือ มีลูกกลิ้ง (Roller) อยู่รอบๆ ล้อในทิศทางการหมุนที่ตั้งฉากกับการหมุนของล้อ Omni Drive ต้องใช้ล้ออย่างน้อย 3 ล้อ วางทำมุมกัน เนื่องจากในแต่ละล้อนั้นมีลูกกลิ้งอยู่ จึงเกิดการเคลื่อนที่ได้ 2 แกนพร้อมๆ กันในแต่ละล้อคือ ตามแนวการหมุนของล้อ และตามแนวการหมุนของลูกกลิ้ง เมื่อต้องการเคลื่อนที่ไปยังทิศใดๆ สามารถแตกความเร็วการเคลื่อนที่เข้าแนวการเคลื่อนที่ของล้อ และของลูกกลิ้งได้เสมอ ทำให้ Omni Drive สามารถเคลื่อนที่ไปยังทิศใดๆ ก็ได้ การเคลื่อนที่ของ Omni Drive จะต้องมีสมการที่เรียกว่า Jacobian/Inverse-Jacobian Matrix เพื่อแปลงความเร็วของหุ่นยนต์ไปสู่ความเร็วของล้อแต่ละล้อ



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่แบบ Omni Drive [14]

### 2.1.9 การเคลื่อนที่แบบ Mecanum Drive

การเคลื่อนที่ชนิดนี้คล้ายกับการเคลื่อนที่แบบ Omni Drive ต่างกันตรงที่ลูกกลิ้ง (Roller) บนล้อไม่วางตั้งฉากกับล้อแต่จะวางทำมุมกัน ส่วนมากจะทำมุม 45 องศา และล้อสามารถวางตัวขนานกันได้ตามปกติไม่ต้องวางทำมุมกัน การเคลื่อนที่ใช้หลักการเดียวกับ Omni drive จึงต้องมี Jacobian/Inverse-Jacobian Matrix ในการคำนวณความเร็วล้อเช่นกัน



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่แบบ Mecanum Drive [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 องค์ประกอบของฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่

องค์ประกอบทั่วไปของหุ่นยนต์หนึ่งตัวประกอบไปด้วยอุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่างๆ มากมายซึ่งอุปกรณ์ และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีหน้าที่แตกต่างกันตามลักษณะ การออกแบบ และวัตถุประสงค์ของการใช้งาน การเลือกใช้อุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่างๆ จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจรวมถึงความเหมาะสมเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คงทน และประหยัดพลังงาน ในหุ่นยนต์แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบไม่เหมือนกัน หรือจำนวนชิ้นส่วนไม่เท่ากันซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ โดยทั่วไปหุ่นยนต์สามารถแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. อุปกรณ์ทางกล (Mechanic)
2. อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Actuator)
3. อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Equipment)
4. อุปกรณ์ควบคุม (Controller)

### 2.2.1 อุปกรณ์ทางกล (Mechanic)

อุปกรณ์ทางกล คือชิ้นส่วนกลไกต่างๆ ของหุ่นยนต์ ที่ช่วยให้หุ่นยนต์ทำงานเสร็จตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ตัวอย่างอุปกรณ์ทางกล เช่น โครงสร้าง เฟลา เฟือง สายพาน ตลับลูกปืน ป्लอกสวม เป็นต้น

#### 2.2.1.1 โครงสร้าง (Frame)

โครงสร้างเป็นส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์ซึ่งทำหน้าที่ยึดจับอุปกรณ์ต่างๆ กับตัวหุ่นยนต์ และยังป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ให้ได้รับอันตรายจากภายนอก โครงสร้างของหุ่นยนต์เปรียบได้กับโครงกระดูกของมนุษย์ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไปตามหน้าที่การทำงาน และวัตถุประสงค์ของหุ่นยนต์นั้นๆ เช่น หุ่นยนต์ทรงกลมที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะการกลิ้ง จะออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ให้มีลักษณะเหมือนลูกบอล ซึ่งวัสดุที่นิยมนำมาสร้างเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ ได้แก่ เหล็ก ไม้ อะลูมิเนียม อะคริลิก โดยการเลือกใช้วัสดุขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน

ข้อดีของโครงสร้างหุ่นยนต์ที่สร้างจากเหล็กคือ มีความแข็งแรง และทนทานมาก แต่มีน้ำหนักมาก ทำให้ต้องใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การปรับเปลี่ยนรูปร่างทำได้ยากเนื่องจากต้องอาศัยการตัด การเจาะหรือการเชื่อม โครงสร้างหุ่นยนต์ชนิดนี้นิยมนำไปสร้างหุ่นยนต์ที่ต้องแบกรับงานที่หนักหรือหุ่นยนต์ที่ทำงานในสถานที่เสี่ยงอันตราย เช่น หุ่นยนต์แขนกลอุตสาหกรรม หุ่นยนต์สำรวจ

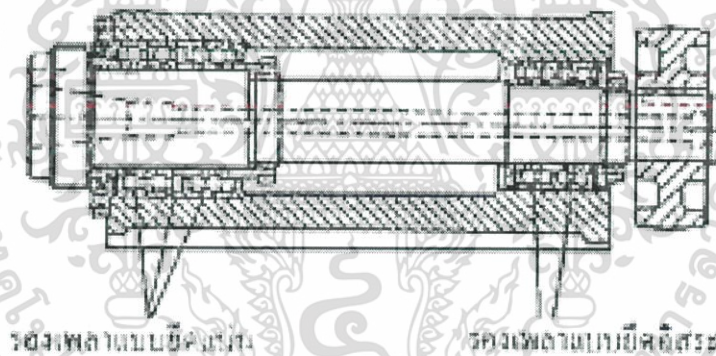
ข้อดีของโครงสร้างหุ่นยนต์ที่สร้างจากไม้คือ สร้างได้ง่าย น้ำหนักเบา การปรับเปลี่ยนรูปร่างทำได้ง่าย แต่ข้อเสียคือ ไม่ทนทาน แบกรับน้ำหนักได้ไม่มาก ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำมาสร้างหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาหรือหุ่นยนต์สำหรับเด็กเล็กซึ่งสามารถสร้าง และแก้ไขได้เองอย่างไม่ยาก

ข้อดีของโครงร่างหุ่นยนต์ที่สร้างจากอะลูมิเนียมคือ มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงพอสมควร สามารถตัด ยัด และเจาะได้ง่าย ทำให้สะดวกในการขึ้นโครงร่าง แต่ข้อเสียคือ อะลูมิเนียมมีราคาแพง ซึ่งนิยมใช้ในการสร้างหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา และหุ่นยนต์ที่ใช้ในการแข่งขัน

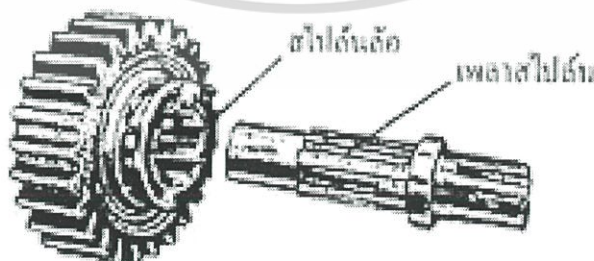
ข้อดีของโครงร่างหุ่นยนต์ที่สร้างจากแผ่นอะคริลิกคือ หาซื้อได้ง่าย สามารถสั่งตัดตามขนาดที่ต้องการได้ มีสีให้เลือกมากมาย ราคาไม่แพง ข้อเสียคือ แผ่นอะคริลิกแตกง่ายทำให้การตัดหรือการเจาะต้องใช้ความระมัดระวัง มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม นิยมใช้ในการสร้างหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา และงานอดิเรก

### 2.2.1.2 เพลา (Shaft)

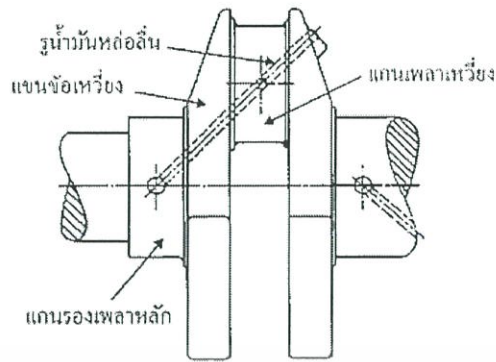
เพลาเป็นชิ้นส่วนสำคัญมากในหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้ทุกชนิด นอกจากเพลาแล้วยังมีแกน (Axle) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับเพลา แต่ไม่สามารถหมุนได้ทำหน้าที่รองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ เป็นต้น เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นก้านทรงกระบอกที่หมุนได้ ใช้สำหรับการส่งถ่ายกำลังจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง มีทั้งเพลาธรรมดาทั่วไปดังรูปที่ 2.10 เพลาสไปลัน ดังรูปที่ 2.11 และเพลาข้อเหวี่ยง ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.10 เพลาธรรมดาทั่วไป [12]



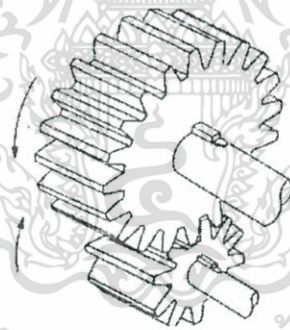
รูปที่ 2.11 เพลาสไปลัน [12]



รูปที่ 2.12 เฟลาข้อเหวี่ยง [12]

### 2.2.1.3 เฟือง (Gears)

เฟืองเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ถ่ายทอดกำลังการหมุนจากเฟลาหนึ่งไปยังเฟลาอีกอันหนึ่งด้วยอัตราความเร็วที่คงที่ และต่อเนื่อง ในการส่งถ่ายกำลังของเฟืองจะประกอบไปด้วยเฟือง 2 ตัว ที่ขบกันอยู่ โดยมีเฟืองขับ (Driving Gear) เป็นตัวหมุนส่งกำลังให้แก่เฟืองตาม (Driven Gear) ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของเฟืองทั้ง 2 ตัวจะมีทิศทางตรงกันข้ามกันเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 โดยเฟืองสามารถแยกประเภทตามลักษณะการวางเฟลาส่งกำลังได้ 3 ชนิดดังต่อไปนี้

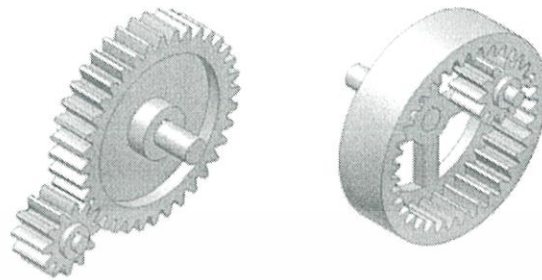


รูปที่ 2.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเฟืองขับและเฟืองตาม [12]

การส่งกำลังเฟลาขนานกัน (Parallel Shafts) เฟืองที่ใช้วิธีการส่งกำลังแบบนี้มี 5 ชนิด ได้แก่ เฟืองตรงภายนอก เฟืองตรงภายใน เฟืองสะพาน เฟืองเฉียง และเฟืองก้างปลา

เฟืองตรงภายนอก (External Spur Gear) คือ ฟันเฟืองทำอยู่บนผิวภายนอกของวัสดุรูปทรงกระบอก ซึ่งการทำงานส่วนมากเฟืองขับ (Driving Gear) หรือ Pinion จะมีขนาดเล็กกว่าเฟืองตาม (Driven Gear) ดังแสดงในรูปที่ 2.14

เฟืองตรงภายใน (Internal Spur Gear) คือ ฟันเฟืองทำไว้บนผิวภายในของวัสดุรูปทรงกระบอก ส่วนเฟืองขับจะวางไว้ภายในของเฟืองตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.14



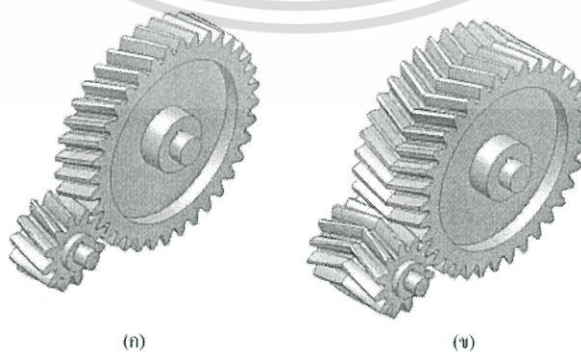
รูปที่ 2.14 การทำงานของเฟืองตรงภายนอกและเฟืองตรงภายใน [6]

เฟืองสะพาน (Rack Gear) ฟันเฟืองจะทำบนแท่งเหล็กสี่เหลี่ยม หรือทำบนแท่งเหล็กกลม ซึ่งจะใช้งานร่วมกับเฟืองตรง โดยเฟืองตรงจะหมุนขับให้เฟืองสะพานเลื่อนไปมา ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เฟืองเฉียง (Helical Gear) ฟันเฟืองจะเอียงทำมุมกับเฟืองเป็นส่วนโค้งฮีลิกซ์ (Helix Curve) อยู่บนผิววัตถุทรงกระบอก ทำให้การขบกันราบเรียบมีเสียงดังน้อย และสามารถถ่ายทอดกำลังหมุนได้ดีในความเร็วรอบสูง แต่การทำมุมของฟันเฟืองจะทำให้เกิดแรงดัน (Thrust Load) ตามแนวแกนเพลลา ถ้ามีมากสามารถทำให้เฟืองเสียหายได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ก)



รูปที่ 2.15 การทำงานของเฟืองสะพาน โดยเฟืองตรงเป็นเฟืองขับ [6]

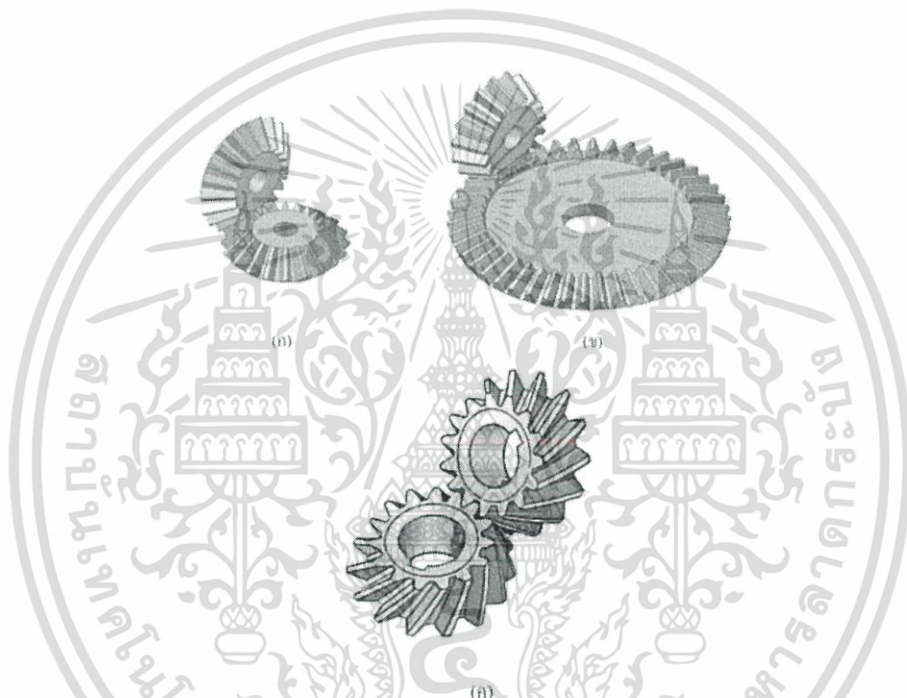


รูปที่ 2.16 การทำงานของเฟืองเฉียงและเฟืองก้างปลา [6]

เฟืองก้างปลา (Herring Bone Gear) ลักษณะของเฟืองเหมือนการนำเอาเฟืองเฉียง 2 อันมาวาง ขบคู่ให้มีมุมตรงข้ามกัน เพื่อทำให้เกิดแรงรุนในแนวแกนเพลลาในทิศทางตรงข้ามกัน ป้องกันเฟืองเสียหาย และทำให้แข็งแรงไม่ต้องรับแรงมาก แต่การสร้างจะมีราคาแพง ดังแสดงในรูปที่ 2.16 (ข)

การส่งกำลังเพลลาตัดกัน (Intersecting Shafts) ได้แก่ เฟืองดอกจอก และเฟืองดอกจอกฟันโค้ง

เฟืองดอกจอก (Bevel Gear) ฟันเฟืองจะทำบนผิวของวัสดุรูปทรงกรวย ฟันเฟืองดอกจอกจะเป็น โค้งอินโวลูตแต่ฟันเฟืองจะเรียงไปตามกรวย เฟืองดอกจอกสามารถวางแนวแกนเพลลาทำมุมเท่าไรก็ได้แต่ ส่วนมากนิยมวางทำมุม  $90^\circ$  และสามารถทดกำลังโดยสร้างเฟืองอีกตัวหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งข้อเสียของ เฟืองดอกจอกคือจะมีเสียงดังมากในขณะทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ก - ข)



รูปที่ 2.17 การทำงานของเฟืองดอกจอกและเฟืองดอกจอกฟันโค้ง [6]

เฟืองดอกจอกฟันโค้ง (Spiral Bevel Gear) ฟันของเฟืองถูกตัดให้ทำมุมคล้ายเกลียวเพื่อให้ปลาย ด้านหนึ่งของแต่ละฟันขบกันก่อนปลายอีกด้านหนึ่งของฟันคู่หน้าจะจากกันทำให้อัตราส่วนสัมผัสมากขึ้น และการถ่ายทอดกำลังราบเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 (ค)

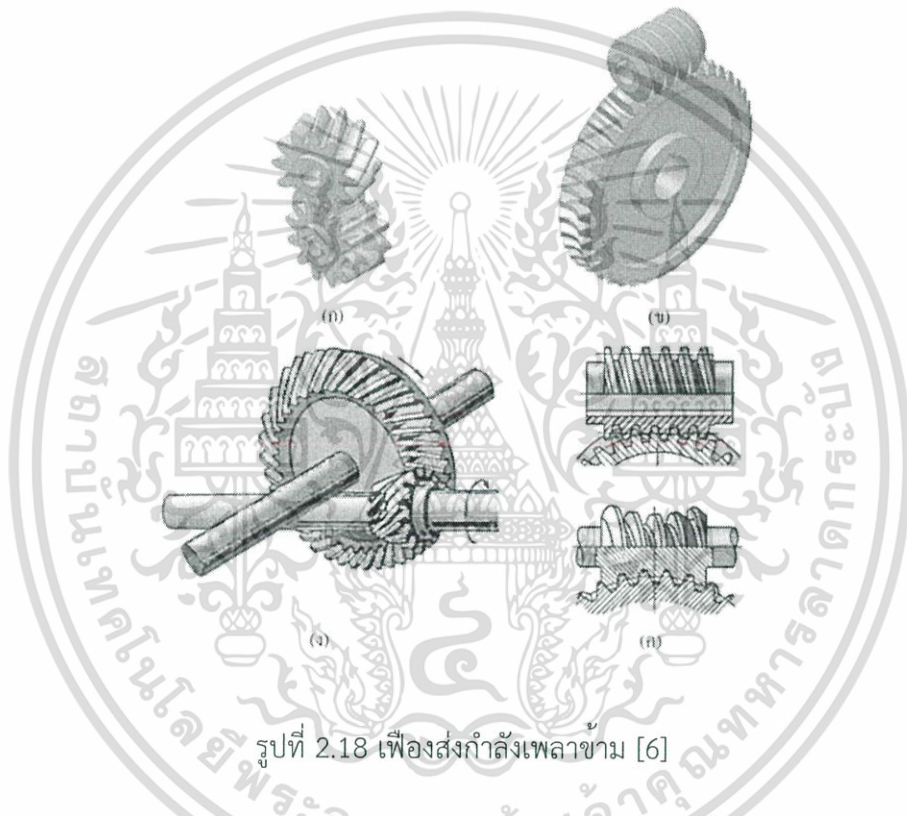
การส่งกำลังเพลลาข้ามกัน (Crossed Shafts) ได้แก่ เฟืองเฉียงขวาง เฟืองหนอนชนิดฟันโอบด้านหนึ่ง เฟือง หนอนชนิดฟันโอบสองด้าน และเฟืองไฮพอยด์

เฟืองเฉียงขวาง (Crossed Helical Gear) การขบของฟันเฟืองมีลักษณะการสัมผัสเป็นจุด นิยมใช้ ในงานส่งกำลังน้อยๆ เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก)

เฟืองหนอนชนิดฟันโอบด้านหนึ่ง (Single Enveloping Worm Gear) เฟืองหนอนมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับเฟืองเฉียง แต่ขอบของฟันมีลักษณะโค้งเว้า การใช้งานจะทำงานร่วมกับเกลียวหนอน และผิวหน้าของฟันเฟืองหนอนโอบฟันเกลียวหนอน ส่วนมากใช้ในการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่ตั้งฉากกันและใช้ในการทดกำลังมากๆ ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข)

เฟืองหนอนชนิดฟันโอบสองด้าน (Double Enveloping) คือฟันเฟืองหนอน และเกลียวหนอนต่างโอบซึ่งกันและกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ค)

เฟืองไฮพอยด์ (Hypoid Gear) ใช้กับเฟืองท้ายของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ง)



รูปที่ 2.18 เฟืองส่งกำลังเพลลาข้าม [6]

โมดูล (Module,  $m$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิทซ์หารจำนวนฟัน โดยมีค่าเป็นจำนวนเต็มหรือทศนิยม โมดูลเป็นหน่วยบอกขนาดของเฟืองในระบบ SI เฟืองที่มีค่าโมดูลมากจะมีขนาดฟันใหญ่ เฟืองที่มีค่าโมดูลน้อยจะมีขนาดฟันเล็ก ค่ามาตรฐานของโมดูลแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานของโมดูล (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

โมดูลนิยม	โมดูลเลือก อันดับสอง	โมดูลนิยม	โมดูลเลือก อันดับสอง	โมดูลนิยม	โมดูลเลือก อันดับสอง
0.1	0.15	1.5	1.75	12	14
0.2	0.25	2	2.25	16	18
0.3	0.35	2.5	2.75	20	22
0.4	0.45	3	3.5	25	28
0.5	0.55	4	4.5	32	36
0.6	0.7	5	5.5	40	45
0.8	0.75	6	7	50	
1	0.9	8	9		
1.25		10	11		

#### 2.2.1.4 สายพาน (Belt)

สายพานมีหน้าที่ส่งกำลังจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงเช่นเดียวกับเฟือง แต่สายพานมีสมบัติเฉพาะตัวคือ อ่อนตัวได้ สามารถรับแรงกระตุก และแรงสั่นได้ดีกว่าเฟือง เสี่ยงเบากว่า แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอน เนื่องจากการไถลตัวของสายพาน และไม่สามารถรับอัตราทดที่สูงได้ การส่งกำลังด้วยสายพานทำได้โดยติดตั้งวงล้อสายพาน (Pulley) ตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป โดยทั่วไปชนิดของสายพานที่นิยมใช้ในหุ่นยนต์ มี 4 ชนิด ได้แก่

1. สายพานแบน (Flat Belts)
2. สายพานกลม (Ropes Belts)
3. สายพานวี (V-Belts)
4. สายพานฟัน (Timing Belts)

ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

สายพานแบน (Flat Belts) เป็นอุปกรณ์อีกชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจากพูลเลย์ของเพลาชับไปยังพูลเลย์ของเพลตาม โดยกำลังที่ส่งถ่ายจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ คือ ความเร็วของสายพาน ความตึงของสายพานที่พาดผ่านชุดพูลเลย์ มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลเลย์ (Arc of Contact) โดยเฉพาะพูลเลย์ตัวที่เล็กกว่า และสภาพแวดล้อมที่สายพานนั้นถูกใช้งานเช่น มีความชื้นอยู่ตลอดเวลา หรือมีโอเอเอ็มโมเนีย ซึ่งจะส่งผลให้อายุของสายพานสั้นลง



รูปที่ 2.19 สายพานแบน [2]

สายพานกลม (Ropes Belts) สายพานประเภทนี้ทำจากพลาสติกโพลียูรีเทน จะสามารถต้านทาน จาระบี น้ำมันเบนซิน น้ำมัน และน้ำ สายพานกลมสามารถปรับตั้งทิศทางการหมุนได้หลายทิศทางตาม ความต้องการ มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม การส่งกำลังด้วยสายพานกลมจะให้ความยืดหยุ่นสูงมาก ขณะการทำงานของสายพานจะไม่เกิดเสียงดัง

สายพานวี (V-Belts) ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรกลตามโรงงานต่างๆ สามารถส่งกำลังได้ในตำแหน่ง ต่างๆ ได้ดี แต่ไม่สามารถส่งกำลังแบบไขว้เหมือนกับสายพานแบน สามารถแบ่งได้เป็น สายพานวีปกติ สายพานร่องวีร่วม สายพานวีแหลม สายพานวีหน้ากว้าง และสายพานวีหลายรูปพรรณ



รูปที่ 2.20 สายพานวี [2]

สายพานฟัน (Timing Belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และจะมีฟันเพื่อตลอดความยาวของสายพานเป็นสายพานที่มีแกนรับแรงด้วยลวดเหล็กกล้า หรือทำด้วยลวดไฟเบอร์ฝังอยู่ในยางเทียม ฟันของสายพานทำด้วยยางเทียม ซึ่งจะหุ้มด้วยเส้นใยไนลอนเพื่อลดการสึกหรอ สายพานชนิดนี้สามารถงอตัวได้ดี ใช้กับพลูเลย์ล้อเล็กๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรได้ เนื่องจากร่องสายพานจะมีขนาดเดียวกับบนร่องพลูเลย์ ทำให้เกิดการขบกันเหมือนฟันเฟือง จึงไม่เกิดการลื่นไถลขณะส่งกำลัง สามารถใช้เป็นตัวส่งกำลังงานในเครื่องยนต์โดยเป็นตัวขับเคลื่อนเพลาลูกเบี้ยวและเพลาราวลั่นและจะไม่เสียดังขณะทำงาน



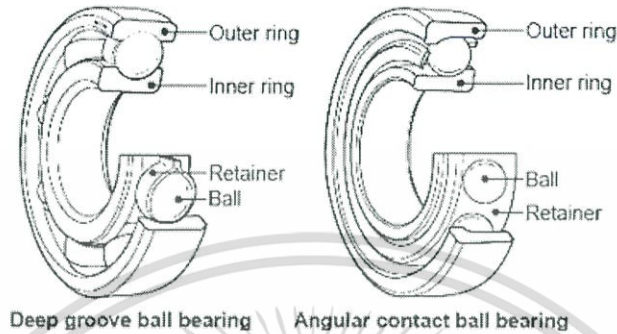
รูปที่ 2.21 สายพานฟัน [2]

Belt Type	XH			XXH		
Tooth Pich	22.225 (mm)			31.750 (mm)		
Code(Width)	200 (50.8 mm) 300 (76.2 mm) 400 (101.6 mm) 500 (127.0 mm) 600 (152.4 mm)			200 (50.8 mm) 300 (76.2 mm) 400 (101.6 mm) 500 (127.0 mm) 600 (152.4 mm)		
Size	Product Code	No. of Teeth	Belt Pich Length (mm)	Product Code	No. of Teeth	Belt Pich Length (mm)
		463 XH	53	1177.93	700 XXH	56
	507 XH	58	1289.05	800 XXH	64	2032.00
	560 XH	64	1422.40	900 XXH	72	2286.00
	630 XH	72	1600.20	1000 XXH	80	2540.00
	700 XH	80	1778.00	1200 XXH	96	3048.00
	785 XH	84	1866.90	1400 XXH	112	3556.00
	770 XH	88	1955.80	1600 XXH	128	4064.00
	840 XH	96	2133.60	1800 XXH	144	4572.00
	927 XH	106	2355.85			
	980 XH	112	2489.20			
	1120 XH	128	2844.80			
	1260 XH	144	3200.40			
	1400 XH	160	3556.00			
	1540 XH	176	3911.60			
	1750 XH	200	4445.00			

รูปที่ 2.22 ตัวอย่างขนาดสายพานฟันมาตรฐาน [3]

### 2.2.1.5 ตลับลูกปืน และปลอกสวม (Bearing and Bush)

ตลับลูกปืน และปลอกสวมต่างก็เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับจุดหมุน หรือจุดต่างๆ ที่เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ มีหน้าที่ลดแรงเสียดทานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของอุปกรณ์



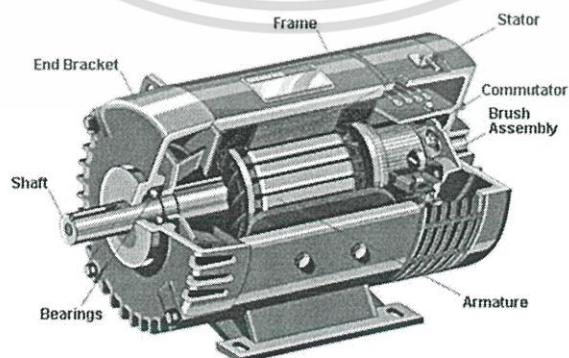
รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของแบริ่ง [15]

### 2.2.2 อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Actuator)

อุปกรณ์ขับเคลื่อนคือ อุปกรณ์ต้นกำลังที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ และสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าให้กลายเป็นการกระจัด การเคลื่อนที่ หรือแรง เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ระบบนิวแมติก ระบบไฮดรอลิก เป็นต้น

#### 2.2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มีหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนต่างๆ ของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนไหว มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามการใช้ของกระแสไฟฟ้าได้ 2 ชนิดคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือ A.C. MOTOR และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor ) หรือ D.C. MOTOR



รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [4]

### 2.2.2.2 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

สเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยพัลส์ (Pulse) ลักษณะการขับเคลื่อนจะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่องแต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1 1.5 1.8 หรือ 2 องศา การนำมอเตอร์ไปใช้จะเป็นงานที่ต้องการตำแหน่งแม่นยำ เช่น ระบบขับเคลื่อนหัวแม่พิมพ์ในเครื่องพิมพ์ (Printer) ระบบขับเคลื่อนหัวอ่านในเครื่องอ่านบันทึกเหล็ก ระบบขับเคลื่อนตำแหน่งของปากกาใน X-Y PLOTTER เป็นต้น

### 2.2.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์เป็นมอเตอร์ชนิดพิเศษที่สามารถควบคุมให้ทำงานเฉพาะในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งได้ โดยเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า เช่นเซอร์โวจับตำแหน่งของเพลลา และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมมอเตอร์ คำว่า “เซอร์โว” มาจากระบบที่สามารถควบคุมพฤติกรรมของมันเองได้ ซึ่งสามารถวัดตำแหน่งของตัวเอง และชดเชยกำลังงานที่เสียไปด้วยสัญญาณควบคุมที่ป้อนกลับมา มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้ในงานที่ต้องการความแม่นยำของตำแหน่งสูง โดยปกติเซอร์โวมอเตอร์จะถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ได้ 0-180 องศา แต่ในปัจจุบันได้มีการนำมาดัดแปลงให้เคลื่อนที่ได้ 360 องศา

### 2.2.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Equipment)

อุปกรณ์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ใช้สัญญาณทางระบบไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ตรวจรู้ วงจรขับต่างๆ อุปกรณ์แสดงผล และแบตเตอรี่

#### 2.2.3.1 อุปกรณ์ตรวจรู้ (Sensor)

อุปกรณ์ตรวจรู้ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณของตัวแปรต่างๆ ใช้ในการรับค่า (Input) ปริมาณทางฟิสิกส์ (Physic) เช่น แสง สี อุณหภูมิ เสียง แรง ความดัน ความหนาแน่น ระยะทาง ความเร็ว อัตราเร่ง ระดับความสูง และอัตราการไหล เป็นต้น แล้วแปลงปริมาณทางฟิสิกส์ที่ได้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หรือปริมาณการวัดในรูปแบบที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ อุปกรณ์ตรวจรู้ เป็นส่วนที่สำคัญในการทำงานของหุ่นยนต์ เปรียบเสมือนกับประสาทสัมผัสในการทำงานของมนุษย์ เช่น อุปกรณ์ตรวจรู้แสงที่ทำหน้าเหมือนตา โดยเปลี่ยน แสง สี ที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งต่อให้ระบบประมวลผล

#### 2.2.3.2 เอ็นโคดเดอร์ (Encoder)

เอ็นโคดเดอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้รูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีความสำคัญมากใช้ในการวัดมุมเพลลาของมอเตอร์ เอ็นโคดเดอร์ประกอบด้วย จานหมุน และอุปกรณ์ตรวจจับ โดยจานหมุนจะมีช่องเล็กๆ เมื่อเพลลาของมอเตอร์หมุนจะทำให้จานหมุนไปตัดลำแสงของอุปกรณ์ตรวจจับ ทำให้ชุดรับแสงมีการรับสัญญาณเป็น

ช่วงๆ จึงทำให้สัญญาณที่ได้มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่ได้จะแปรผันตรงกับการหมุนของเพลามอเตอร์ ซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด คือ เ็นโคดเดอร์อินคริเมนต์ และเ็นโคดเดอร์แบบสัมบูรณ์

เ็นโคดเดอร์อินคริเมนต์ (Incremental Encoder) หรือเ็นโคดเดอร์แบบโรตารี (Rotary Encoder) แสดงความเร็ว สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital) ง่ายต่อการแปรผล

เ็นโคดเดอร์แบบสัมบูรณ์ (Absolute Encoder) หรือโพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer) โดยทั่วไปแล้วการทำงานคล้ายกับเ็นโคดเดอร์แบบโรตารี แต่สัญญาณที่ได้จะเป็นเลขฐานสอง (Binary) จะให้ความเที่ยงตรง และสามารถบอกได้ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่

### 2.2.3.3 อุปกรณ์แสดงผล (Output Device )

อุปกรณ์แสดงผล คืออุปกรณ์ที่ใช้แสดงค่า (Output) สถานะต่างๆ ของหุ่นยนต์ให้มนุษย์ทราบ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้แสดงผลของหุ่นยนต์มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น จอภาพ (Monitor) ใช้ในการบอกสถานะด้วยภาพ ลำโพง (Speaker) ใช้ในการบอกสถานะด้วยเสียง หรือแม้แต่กระทั่งหลอดไฟ (Lamp) ก็ใช้ในการบอกสถานะของหุ่นยนต์ได้เช่นกัน

### 2.2.3.4 ชุดขับมอเตอร์ (Motor Driver)

ชุดขับมอเตอร์เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้มอเตอร์เกิดการหมุน ส่วนใหญ่การทำงานของชุดขับจะเหมือนกับการทำงานของสวิตช์ที่เปิดปิดตามสัญญาณที่ชุดควบคุมส่งออกมา ใช้ในการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ ตัวอย่างเช่น การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ความเร็วในการหมุนนั้นขึ้นกับขนาดของแรงดัน และกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์ แต่แรงดัน และกระแสที่ป้อนให้มันต้องไม่เกินค่าที่มอเตอร์สามารถรับได้ด้วย ไมเช่นนั้นจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวมอเตอร์ และเกิดความเสียหายขึ้น ส่วนทิศทางการหมุนของมอเตอร์นั้นขึ้นกับขั้วของแหล่งจ่ายที่เราป้อน

### 2.2.3.5 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ คือ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่มอเตอร์ และส่วนควบคุมเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน และควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

## 2.3 การคำนวณแรงในการบิด กำลัง และประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สูตร แรงบิด (Torque) หน่วย นิวตันเมตร (N.M.)

$$T = F \times R \quad (2.1)$$

สูตร งานที่ได้จากแรงใน 1 รอบการหมุน หน่วย จูล (Jule)

$$W = \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$W = F \times 2\pi r \quad (2.2)$$

สูตร กำลังที่เกิดขึ้น หน่วย จูลต่อวินาที (Jule/s)

$$P_o = F \times 2\pi r \times \frac{N}{60}$$

$$P_o = (F \times r) \left( 2\pi \frac{N}{60} \right) \quad (2.3)$$

สูตร ความเร็วเชิงมุม หน่วย เรเดียนต่อวินาที (Rad/s)

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60} \quad (2.4)$$

สูตร กำลังที่เกิดขึ้น หน่วย จูลต่อวินาทีหรือวัตต์ (Jule/s, W)

$$P_o = T \times \omega \quad (2.5)$$

สูตร กำลังไฟฟ้า หน่วย วัตต์ (W)

$$P = V \times I \quad (2.6)$$

สูตร ประสิทธิภาพ

$$\eta = \left(\frac{P_O}{P_I}\right) \times 100 \quad (2.7)$$

เมื่อ  $P_O$  = กำลังด้านเอาต์พุท  
 $P_I$  = กำลังด้านอินพุท

สูตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

$$V = \frac{S}{t} \quad (2.8)$$


## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

การจัดทำปริญญานิพนธ์เรื่อง การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ฉบับนี้ ผู้จัดทำได้กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของฐานหุ่นยนต์ รวมไปถึงออกแบบฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ตอบสนองตามวัตถุประสงค์ด้วยโปรแกรมสำหรับการออกแบบ 3 มิติ (Solidworks) จากนั้นสร้างฐานหุ่นยนต์ ทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่ ดังนี้

1. การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์
2. ขั้นตอนการสร้าง
3. การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบใหม่
4. การประกอบชุดล้อหุ่นยนต์
5. ขั้นตอนการทดสอบและวัดผล

#### 3.1 การออกแบบหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์นั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบเพื่อให้ทราบขนาดของส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปสร้างส่วนประกอบได้ถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานของหุ่นยนต์ที่ผู้วิจัยต้องการ

##### 3.1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ในการสร้างหุ่นยนต์

วัตถุประสงค์เพื่อสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ ที่สามารถตอบสนองการซ่อมบำรุง ณ จุดปฏิบัติงานได้ สามารถเปลี่ยนชุดล้อได้ทันทีหากชุดล้อชำรุดขณะปฏิบัติงาน

##### 3.1.2 กำหนดขอบเขตของหุ่นยนต์

1. ชุดล้อของฐานหุ่นยนต์เป็นแบบโมดูลาร์
2. สามารถเคลื่อนที่ได้บนพื้นผิวเรียบ และผิวขรุขระได้
3. สามารถรับน้ำหนักบรรทุก และแรงลากจูง 50 กิโลกรัม

### 3.1.3 ออกแบบหุ่นยนต์ที่ตอบสนองตามวัตถุประสงค์

1. ออกแบบล้อหุ่นยนต์เป็นสายพานดินตะขาบ เพื่อให้ฐานหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่บนพื้นผิวเรียบหรือขรุขระได้

2. ออกแบบชุดล้อโมดูลาร์ให้สามารถถอดประกอบกับตัวถังหุ่นยนต์ได้อย่างอิสระ เพื่อตอบสนองการซ่อมบำรุง ณ จุดปฏิบัติงาน

### 3.1.4 การเลือกวัสดุอุปกรณ์

การเลือกวัสดุที่ใช้ในการประกอบฐานหุ่นยนต์ ผู้วิจัยมีการศึกษาว่าส่วนประกอบต่างๆ ของล้อหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนใดบ้าง ชิ้นส่วนใดเป็นชิ้นส่วนมาตรฐานที่สามารถซื้อได้ตามท้องตลาด จากนั้นนำขนาดของชิ้นส่วนมาตรฐานเหล่านั้นมาออกแบบชิ้นส่วนอื่นๆ ที่ผู้จัดทำต้องสร้างด้วยตนเองให้มีความเหมาะสม

#### 3.1.4.1 การเลือกมอเตอร์

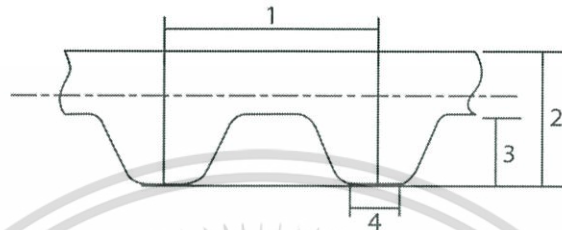
การเลือกขนาดของมอเตอร์ต้องมีความสอดคล้องกับขอบเขตที่กำหนดไว้ โดยกำหนดให้ชุดล้อโมดูลาร์มีแรงลากสูง 50 กิโลกรัม โดยไม่รวมน้ำหนักของชุดล้อ และประมาณการค่าน้ำหนักของชุดล้อไว้ที่ 10 กิโลกรัม จากการคำนวณตามสมการที่ 2.1 ชุดล้อจะต้องการใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิดอย่างน้อย 30 นิวตันเมตร



รูปที่ 3.1 มอเตอร์ที่เลือกใช้งาน

### 3.1.4.2 การเลือกสายพาน

การเลือกสายพานจะเลือกสายพานที่มีขนาดฟัน (Tooth Pitch) ขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถวิ่งบนพื้นผิวขรุขระได้ดี และขนาดเส้นรอบวงของสายพานต้องสอดคล้องกับขนาดของตัวล้อฐานหุ่นยนต์ จึงเลือกใช้สายพาน Timing Belt รหัส 507 XH หน้ากว้าง 75 มิลลิเมตร ความยาวรอบวงสายพาน 1778 มิลลิเมตร จำนวนฟัน 58 ฟัน ที่มีองค์ประกอบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของสายพาน Timing belt

โดยมีขนาดดังนี้

1. Tooth Pitch = 31.75 mm
2. Belt Height = 15.73 mm
3. Tooth Height = 9.53 mm
4. Tooth Width = 12.12 mm



รูปที่ 3.3 สายพาน Timing belt ที่เลือกใช้

### 3.1.4.3 การเลือกแปรง

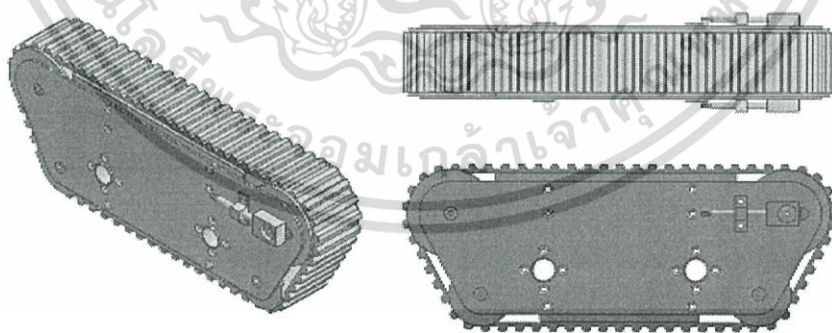
การเลือกแปรงจะเลือกแปรงขนาดมาตรฐานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 20 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 42 มิลลิเมตร และมีความหนา 12 มิลลิเมตร จำนวน 8 อันต่อ 1 ชุดล้อยังแสดงในรูปที่ 3.4



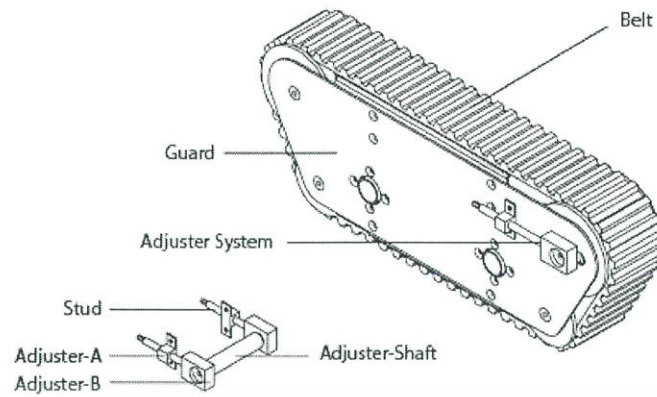
รูปที่ 3.4 แปรงที่เลือกใช้

### 3.1.5 ออกแบบชุดล้อหุ่นยนต์โมดูลาร์ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

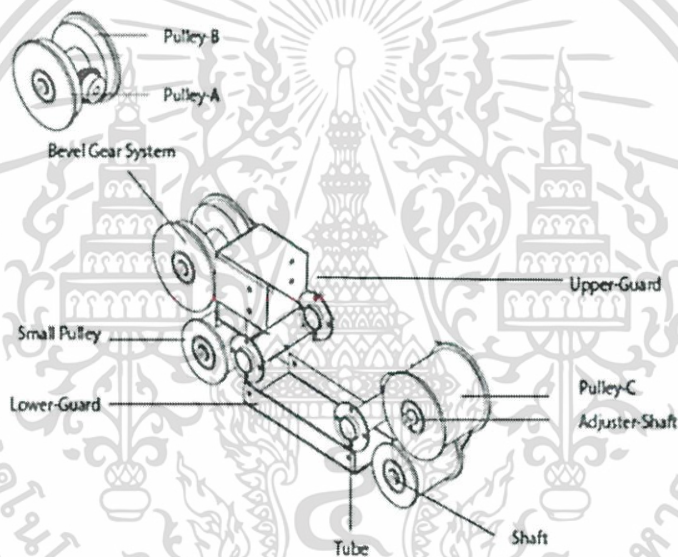
ชุดล้อหุ่นยนต์ถูกออกแบบด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์คือ โปรแกรมโซลิดเวิร์ค โดยรายละเอียดของชิ้นส่วนต่างๆ จะแสดงในภาคผนวก โดยการออกแบบชุดล้อตีนตะขาจะออกแบบให้ชุดล้อ 1 ชุด บรรจุมอเตอร์กระแสตรง 1 ตัว ชุดเฟืองดอกจอก 1 ชุด และพลูเลย์สำหรับขับเคลื่อน 4 ตัว ซึ่งชุดล้อจะมีความสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชุดล้อตีนตะขา



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายนอกที่สำคัญของชุดล้อตีนตะขา



รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบภายในที่สำคัญของชุดล้อตีนตะขา

### 3.2 ขั้นตอนการสร้าง

ชุดล้อตีนตะขาบมีส่วนประกอบที่ต้องสร้างด้วยตนเองประกอบไปด้วย พลุเลย์ เฟลา Guard Lower-plate Upper- plate Tube และ Spacer ดังรายละเอียดต่อไปนี้

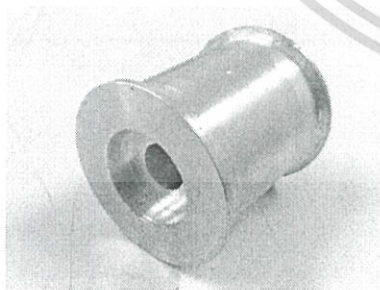
#### 3.2.1 พลุเลย์ (Pulley) แบบเดิม

พลุเลย์เป็นส่วนที่ทำให้สายพานขับเคลื่อน โดยหลักการคือ มีพลุเลย์ 1 ตัวที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์จึงทำให้สายพานหมุนเพื่อขับพลุเลย์ตัวอื่นๆ ใน 1 ชุดล้อประกอบไปด้วยพลุเลย์ทั้งหมด 4 ชั้น ได้แก่

1. พลุเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร จำนวน 2 ตัวดังรูปที่ 3.9 (ก)
2. พลุเลย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัวดังรูปที่ 3.9 (ข)
3. พลุเลย์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัวดังรูปที่ 3.9 (ค) โดยพลุเลย์ตัวนี้จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ พลุเลย์ A ดังรูปที่ 3.9 (ง) และ พลุเลย์ B ดังรูปที่ 3.9 (จ) โดยพลุเลย์ทำจากเฟลาอะลูมิเนียมตันที่กลึงให้ขนาดตามการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.8



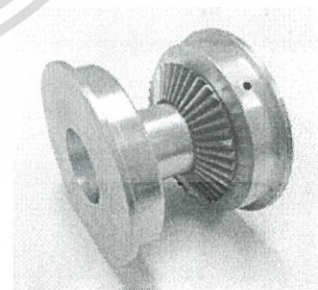
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานเฟลาอะลูมิเนียมตัน



(ก)



(ข)

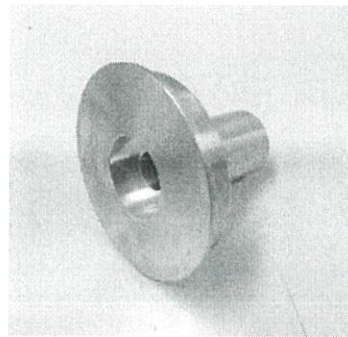


(ค)

รูปที่ 3.9 พลุเลย์



(ง)

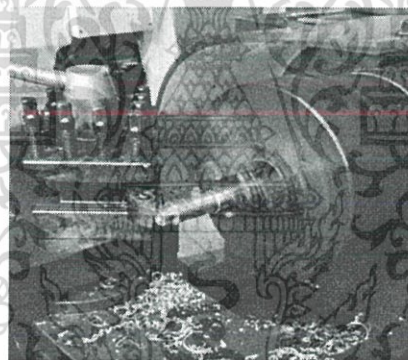


(จ)

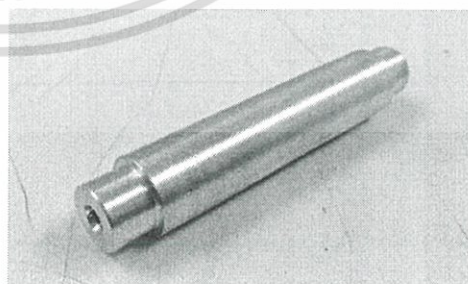
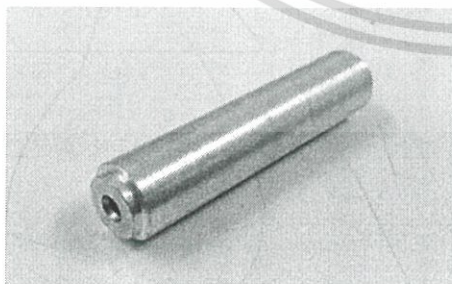
รูปที่ 3.9 พลูเลย์ (ต่อ)

### 3.2.2 เพลา (Shaft)

เพลาเป็นส่วนที่รองรับการหมุนของพลูเลย์ และยึดพลูเลย์ให้ประกอบกับตัวล้อ เพลาทั้งหมดจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร โดยชุดล้อ 1 ชุดจะประกอบไปด้วยเพลา 4 ชิ้น ได้แก่ เพลาความยาว 93 มิลลิเมตร 3 ชิ้น และเพลาความยาว 107 มิลลิเมตร 1 ชิ้น



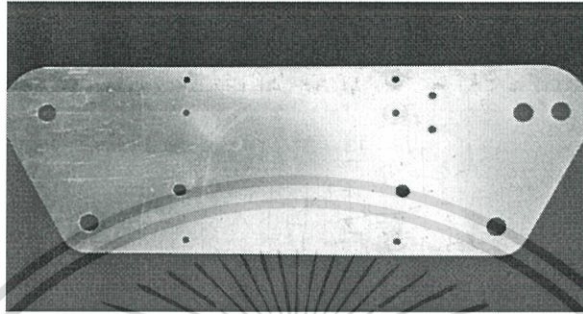
รูปที่ 3.10 ขณะกลึงเพลา



รูปที่ 3.11 เพลาทั้ง 2 ขนาด

### 3.2.3 แผ่นโครงประกอบ (Guard)

ชิ้นส่วนนี้ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 2 มิลลิเมตร ที่ถูกตัดด้วยเครื่องตัดพลาสมา และเจาะรูให้ได้ขนาดตามการออกแบบด้วยโปรแกรม เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่ยึดชิ้นส่วนอื่นๆ และยังปกป้องชิ้นส่วนที่ประกอบอยู่ภายในล้อไม่ให้ได้รับความเสียหาย



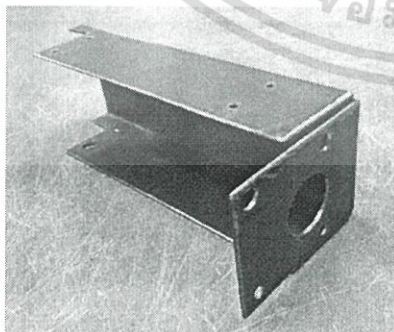
รูปที่ 3.12 แผ่นโครงประกอบ (Guard)

### 3.2.4 แผ่นประกบด้านบน (Upper-plate) แบบเดิม

ชิ้นส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ระบุตำแหน่งของมอเตอร์ และปิดช่องว่างระหว่างแผ่นโครงประกอบทั้ง 2 แผ่นเพื่อช่วยรองรับสายพาน ทำจากแผ่นเหล็กที่มีความหนา 2 มิลลิเมตรถูกตัดด้วยเครื่องตัดพลาสมาและพับตามที่ได้ออกแบบในโปรแกรม

### 3.2.5 แผ่นประกบด้านล่าง (Lower-plate)

ชิ้นส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ปิดช่องว่างระหว่างแผ่นโครงประกอบทางด้านล่าง ซึ่งทำจากแผ่นเหล็กที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดด้วยเครื่องตัดพลาสมาและพับให้ได้ตามที่ได้ออกแบบในโปรแกรม



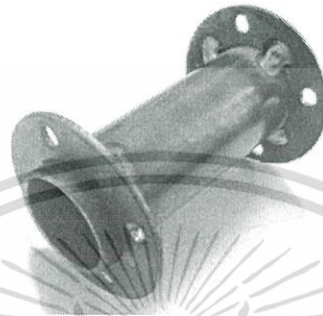
รูปที่ 3.13 แผ่นประกบด้านบน



รูปที่ 3.14 แผ่นประกบด้านล่าง

### 3.2.6 ท่อประกอบตัวถัง (Tube)

ชิ้นส่วนนี้เป็นท่อเหล็กกลวงใช้ในการยึดแผ่นโครงประกอบทั้ง 2 แผ่นเข้าด้วยกัน และใช้ประกอบเข้ากับส่วนของตัวถัง ซึ่งทำจากท่อเหล็กตัดให้ได้ขนาด จากนั้นนำไปเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อม MIG กับแผ่นเหล็กกลมที่ตัดด้วยเครื่องตัดพลาสมาตามการออกแบบในโปรแกรม



รูปที่ 3.15 ท่อประกอบตัวถัง (Tube)

### 3.2.7 แหวนรอง (Spacer)

ชิ้นส่วนนี้ใช้สำหรับเพิ่มช่องว่างระหว่างแผ่นโครงประกอบ และพลูเลย์ เพื่อลดการเสียดสีของพลูเลย์ และแผ่นโครงประกอบ ซึ่งทำจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีหนา 2 มิลลิเมตรที่ถูกตัดตามขนาดที่ออกแบบด้วยโปรแกรม



รูปที่ 3.16 แหวนรอง (Spacer)

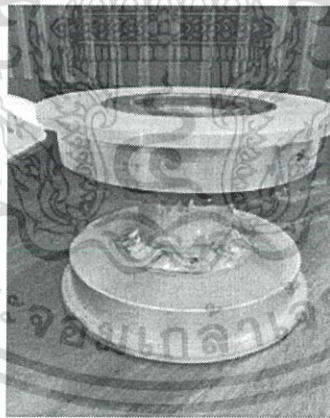
### 3.3 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบใหม่

การออกแบบโครงสร้างชิ้นส่วนหุ่นยนต์ขึ้นมาใหม่ เพื่อช่วยลดขนาดน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์และเพื่อเป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการประกอบให้เร็วขึ้น โดยมีชิ้นส่วนที่ทำการออกแบบใหม่ ดังนี้

1. พลูเลย์ (Pulley) แบบใหม่
2. แผ่นประกบด้านบน (Upper-plate) แบบใหม่

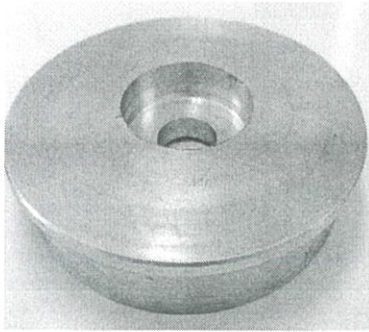
#### 3.3.1 พลูเลย์ (Pulley) แบบใหม่

เนื่องจากพลูเลย์ที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว ดังรูปที่ 3.9 (ค) ตามการออกแบบเดิม ส่วนเว้าตรงกลางเป็นชิ้นเดียวกับกับฝั่งที่ไม่ติดเฟือง ทำการกลึงอลูมิเนียมตรงกลางออกเยอะมาก ดังรูปที่ 3.9 (จ) มีการใช้วัสดุที่สิ้นเปลืองเกินไปโดยไม่จำเป็นซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูญหายไปโดยไม่จำเป็น และก็มี การสิ้นเปลืองเวลาในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานนี้มากจึงทำการออกแบบใหม่ โดยไม่ต้องกลึงอลูมิเนียมส่วนเว้าตรงกลางทั้งเยอะ โดยการแยกส่วนอลูมิเนียมกัน และฝั่งที่เป็นอลูมิเนียมด้วยกันทำการเชื่อมติดกัน แต่ฝั่งที่เป็นโลหะหรือเฟืองดอกจอกให้ยึดด้วยสกรูติดกับอลูมิเนียม เพื่อเป็นการลดค่าวัสดุและเวลาในการสร้างชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.17 (ก) โดยพลูเลย์แบบใหม่ ดังรูปที่ 3.17 (ก) นี้ จะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ พลูเลย์ A ดังรูปที่ 3.17 (ข) พลูเลย์ B ดังรูปที่ 3.17 (ค) และ พลูเลย์ C ดังรูปที่ 3.17 (ง)



(ก)

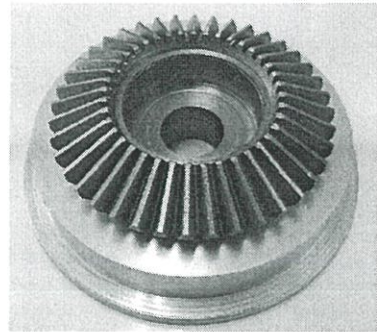
รูปที่ 3.17 พลูเลย์แบบใหม่



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.17 พลูเลย์แบบใหม่ (ต่อ)

### 3.3.2 แผ่นประกบด้านบน (Upper-plate) แบบใหม่

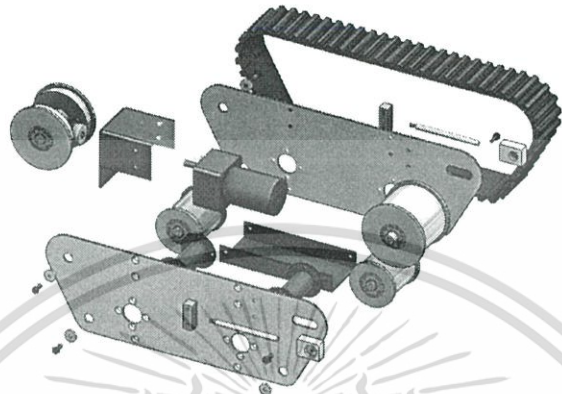
เนื่องจากแผ่นประกบด้านบนแบบเดิมมีน้ำหนักที่มากและเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุในการทำชิ้นส่วนนี้เกินความจำเป็น แผ่นประกบด้านบนนี้เป็นตัวยึดมอเตอร์เข้าไป จึงทำการออกแบบใหม่เพื่อช่วยในเรื่องการลดน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์และลดการสิ้นเปลืองวัสดุออกไปซึ่งช่วยในเรื่องการลดค่าใช้จ่ายออกไปด้วย



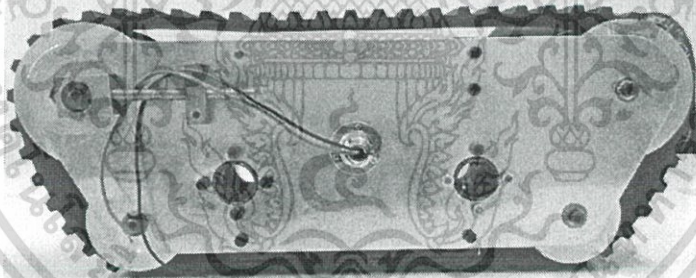
รูปที่ 3.18 แผ่นประกบด้านบนแบบใหม่

### 3.4 การประกอบชุดล้อหุ่นยนต์

ชุดล้อหุ่นยนต์ 1 ล้อประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น และมีรูปแบบการประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การประกอบชุดล้อหุ่นยนต์



รูปที่ 3.20 ชุดล้อหุ่นยนต์ที่เสร็จสมบูรณ์

### 3.5 ขั้นตอนการทดสอบและวัดผล

เมื่อทำการประกอบหุ่นยนต์เสร็จสมบูรณ์แล้วจากนั้นก็นำมาทดสอบคุณสมบัติดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของชุดล้อโมดูลาร์ โดยการจัดให้ชุดล้อโมดูลาร์บรรทุกน้ำหนักและเคลื่อนที่ในแนวตรงดังรูปที่ 3.21 เพื่อทดสอบน้ำหนักบรรทุกที่มากที่สุดที่ชุดล้อสามารถแบกรับพร้อมกับเคลื่อนที่ได้ในระยะทาง 3 เมตร บนพื้นผิวกระเบื้องยาง วัดผลโดยการวัดระยะที่เคลื่อนที่ และเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ จากนั้นคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ที่น้ำหนักต่างๆ ดังสมการที่ 2.8 สรุปผลเป็นน้ำหนักที่มากที่สุดที่ล้อหุ่นยนต์สามารถรับและทำการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.21 ขณะทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

การวัดผลการดำเนินงาน เป็นการทดสอบชุดล้อโมดูลาร์ภายหลังจากการออกแบบใหม่บางชิ้นส่วน และประกอบชุดล้อต้นตะขาบ โดยการทดสอบประกอบไปด้วยการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่

#### 4.1 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่

การทดสอบการรับน้ำหนักของล้อหุ่นยนต์โมดูลาร์นั้น ทำโดยการจัดให้ชุดล้อเคลื่อนที่พร้อมน้ำหนักที่บรรทุก และเพิ่มค่าน้ำหนักวัดดังตารางที่ 4.1 เพื่อทดสอบน้ำหนักที่มากที่สุดที่ชุดล้อสามารถแบกรับพร้อมกับเคลื่อนที่ได้ในระยะทาง 3 เมตร บนพื้นผิวกระเบื้อง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่

น้ำหนักวัด (กิโลกรัม)	ผลการทดสอบ		
	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)
0	3	14	0.21
10	3	14	0.21
15	3	14	0.21
20	3	14	0.21
25	-	-	-

จากผลการทดสอบ พบว่าชุดล้อหุ่นยนต์ 1 ชุด สามารถเคลื่อนที่พร้อมกับแบกรับน้ำหนักบรรทุกระหว่างช่วง 0 กิโลกรัม ถึง 20 กิโลกรัมที่ความเร็วเฉลี่ย 0.21 เมตรต่อวินาที และ จากการทดสอบการรับน้ำหนัก ถ้าน้ำหนัก 25 กิโลกรัม ชุดล้อหุ่นยนต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผล และการอภิปรายผลของปริญญาณิพนธ์เรื่อง การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ และข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสรุปผลการดำเนินงาน
2. ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญาณิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการให้เกิดเวลาหยุดงานจากการเสียของเครื่องลงน้อยที่สุดที่สามารถเป็นไปได้ และสามารถซ่อมบำรุงได้ง่าย ณ บริเวณทำงานได้ทันที โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายออกซึ่งช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาวิธีการออกแบบฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์ โดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค เข้ามาช่วยในการออกแบบ จากนั้นจึงใช้กระบวนการตัด และกระบวนการทางเครื่องจักรกลในการดำเนินสร้างชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ซึ่งผลที่ได้จากการดำเนินงานพบว่า

1. ชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์มีน้ำหนัก 10.28 กิโลกรัม
2. ชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ขณะแบกรับน้ำหนักบรรทุกได้มากที่สุด 20 กิโลกรัมที่ความเร็ว 0.21 เมตรต่อวินาที
3. จากการเปรียบเทียบกับล้อหุ่นยนต์แบบโมดูลาร์ตัวต้นแบบที่เคยทำการสร้างขึ้นมาก่อนผลที่ได้คือ ล้อชุดที่ออกแบบใหม่มีน้ำหนักที่เบาว่า ลดลงจาก 11 กิโลกรัมเหลือ 10.28 กิโลกรัม
4. ผลการรับน้ำหนักบรรทุกและทำการเคลื่อนที่ ปรากฏว่า รับน้ำหนักได้น้อยลงจากตัวต้นแบบที่รับได้ 48 กิโลกรัม ที่ความเร็วเฉลี่ย 0.17 เมตรต่อวินาที
5. การที่ชุดล้อใหม่มีประสิทธิภาพลดลงอาจจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนจากการวัดขนาดชิ้นส่วนประกอบหุ่นยนต์จึงทำให้เกิดการรับแรงเสียดทานที่มากเกินไปประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่และบรรทุกน้ำหนักลดลง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเพื่อลดต้นทุนในการผลิตควรจะต้องเก็บข้อมูลและศึกษารายละเอียดของงานว่าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานอย่างไรบ้าง
2. ชิ้นส่วนเป็นโครงประกอบที่จะเป็นชิ้นส่วนที่ต้องรองรับการประกอบของชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน ควรมีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักชิ้นส่วนต่างๆ ของชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ดี อาจมีการปรับเปลี่ยนวัสดุที่มีความเหมาะสมกับน้ำหนักที่โครงประกอบต้องรับมาก เช่น เปลี่ยนมาใช้เหล็ก หรือใช้อะลูมิเนียมที่มีความหนามากขึ้น เพื่อความมั่นคงในการทำงาน
3. สามารถลดน้ำหนักของชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ โดยการเจาะขยายรูทะลุพลูเลย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และพลูเลย์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร ให้มีขนาดกว้างขึ้น เพื่อเป็นการลดน้ำหนักของชิ้นงานและลดแรงเสียดทานระหว่างพลูเลย์และเพลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนให้ดีขึ้น
4. สามารถเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างพลูเลย์ และสายพาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน โดยการเปลี่ยนสายพานเป็นแบบมีฟันทั้งสองด้าน
5. สามารถพัฒนาชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อควบคุมทิศทาง และความเร็วในการเคลื่อนที่แบบไร้สาย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กมล, 2556. บทความ : การเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพาน. แนะนำการสร้างหุ่นยนต์ด้วยตนเอง.
- [2] การส่งกำลังโดยใช้สายพาน. [ออนไลน์]. เข้าได้ถึงจาก : <https://www.thaipurchasing.com/article/p-679>
- [3] ขนาดสายพานฟันมาตรฐาน [ออนไลน์]. เข้าได้ถึงจาก <http://www.thiansupa.com/product/2866/mitsuboshi-timing-belt-g>
- [4] โครงสร้างมอเตอร์ [ออนไลน์]. เข้าได้ถึงจาก <https://sites.google.com/site/apizzaip013/khorngrang-mxtexr/khorngrang-mxtexr-1>
- [5] เฉลิมชัย กุลเสียบ, 2558. การเขียนแบบเฟือง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี : 231-237.
- [6] ชนายนันท์ จันทร์เทวี และตติยา น้อยมี , 2560. การออกแบบฐานหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบโมดูลาร์. ปรินซิปีนิพนธ์ภาควิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] ณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ และณรงค์ ลำดำ, 2552. ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence). กรุงเทพฯ : เคทีพี คอมพิวเตอร์ คอนซัลท์.
- [8] บุญเจริญ ศิริเนาวกุล, 2550. ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ห้อง
- [9] มนุศักดิ์ จานทอง และไกรศักดิ์ โพธิ์ทองคำ, 2560. บทความ : การออกแบบระบบหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับที่ 1 : 33-42.
- [10] เสถียร ธัญศรีรัตน์, 2551. พื้นฐานหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (Fundamentals of Industrial Robotics). กรุงเทพฯ : งานส่งเสริมวิจัยและตำราโรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
- [11] สาคร สว่างอารมณ์ และคณะ, 2555. หุ่นยนต์สำรวจ 6 ขา. ปรินซิปีนิพนธ์ภาควิชาชีพวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [12] เหมือนฝัน, 2555. หลักการระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกล.
- [13] Gómez, Juan G., 2008. Modular Robotics And Locomotion: Application To Limbless Robots. Spain : Universidad Autónoma De Madrid.
- [14] Kamolc , 2013. การเคลื่อนที่บนพื้นด้วยล้อและสายพาน. [ออนไลน์]. เข้าได้ถึงจาก : <https://www.thairobotics.com/2013/10/11/byob-wheel-and-track/>
- [15] Phonphet , 2554. ความรู้ทั่วไปของ Bearing SKF และข้อกำหนดในการระบุ Bearing ตามมาตรฐาน ISO [ออนไลน์]. เข้าได้ถึงจาก <http://replicainspection.blogspot.com/2011/01/bearing-skf-bearing-iso.html>

[16] Yim, M, Duff, D, Roufas, K., 2000. Polybot: A Modular Reconfigurable Robot.  
 In: Proceedings of the 2000 IEEE international conference on robotics and automation.

[17] Zhang H., 2009. An Introduction To Modular Robots and Our On-going Projects.  
 Germany : University of Hamburg.



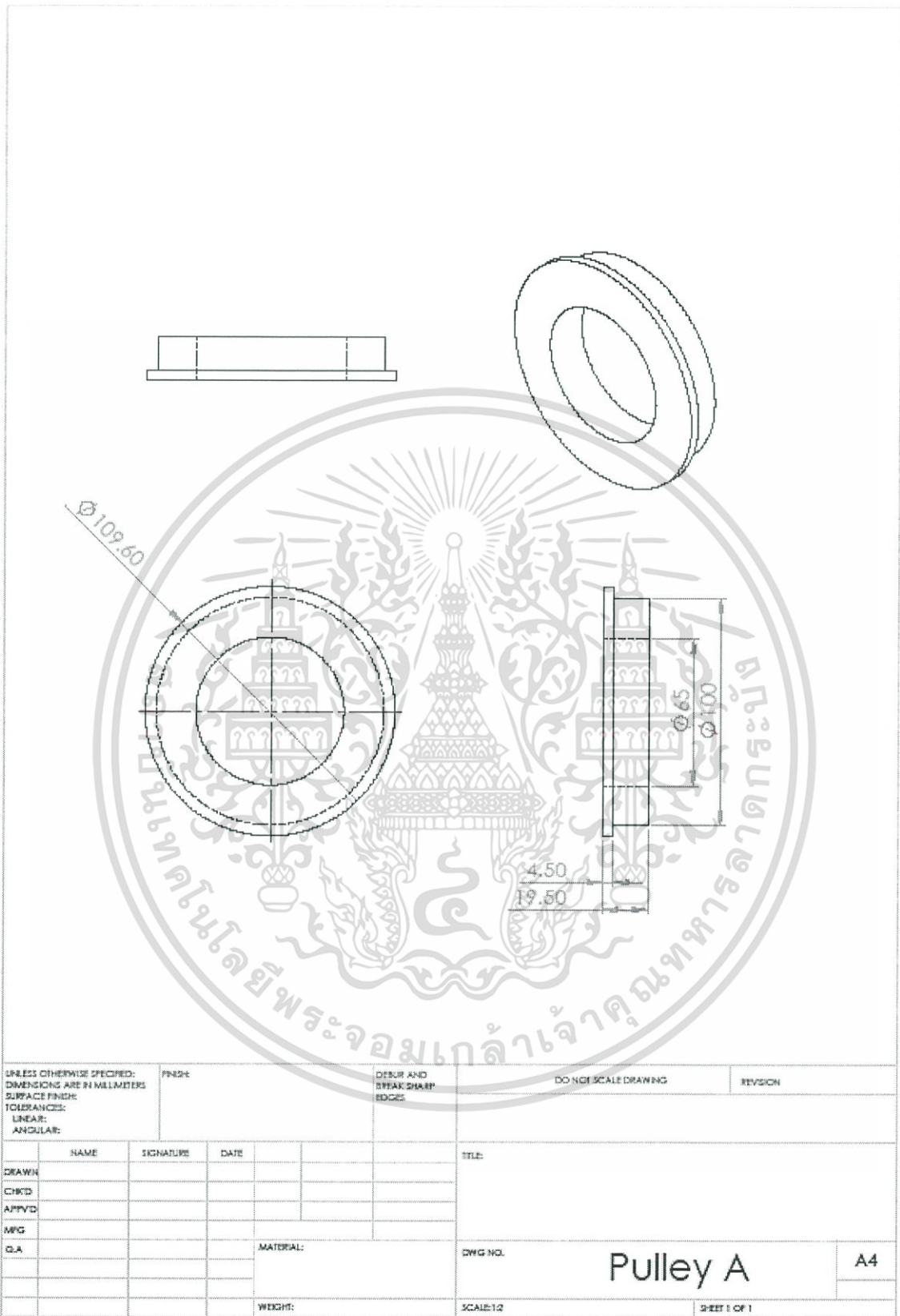


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

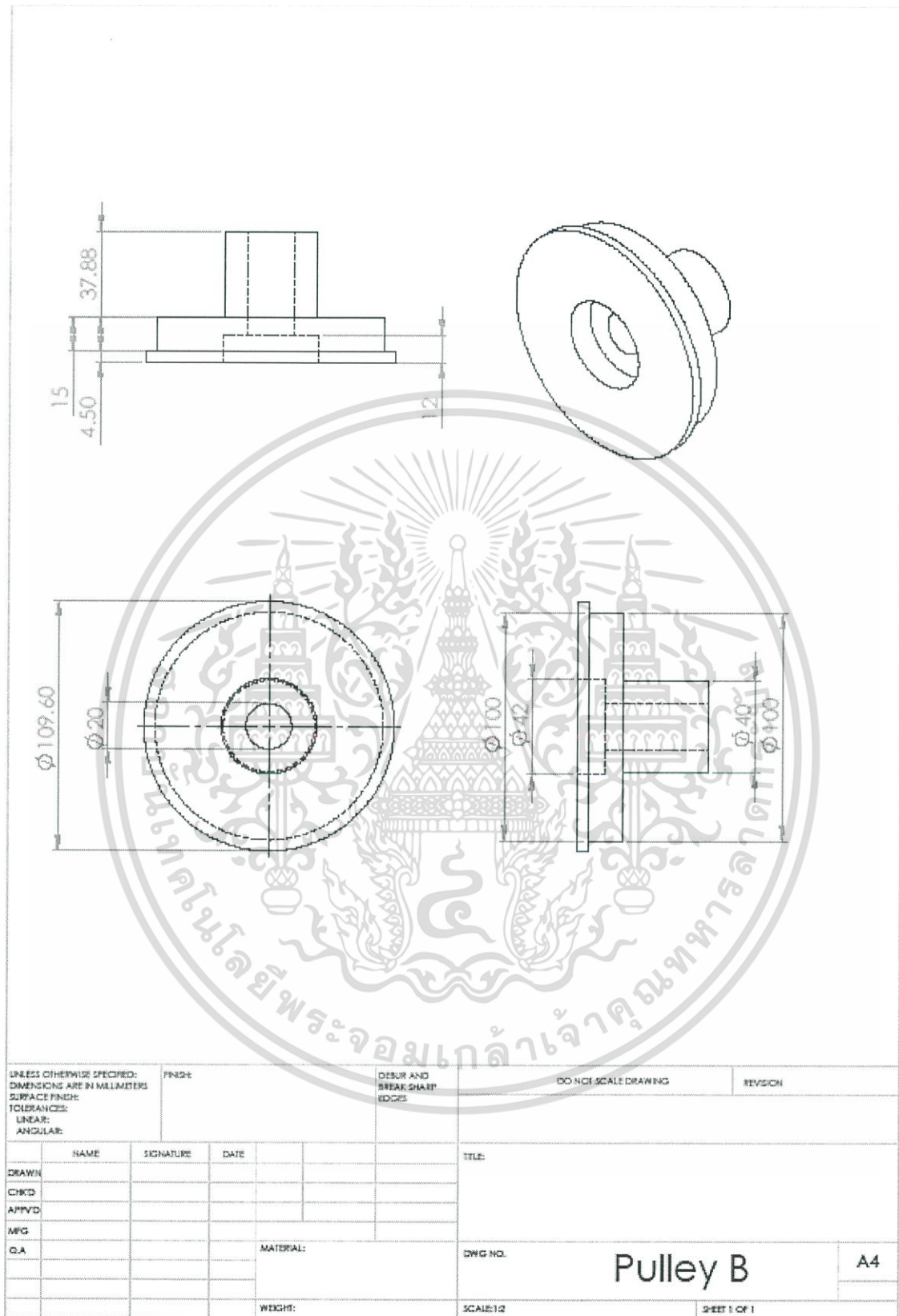
ตารางที่ ผ.1 รายการชิ้นส่วนต่างๆ ของชุดล้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่

ลำดับที่	ชิ้นส่วน	จำนวน	ชิ้นส่วนที่สร้างเอง
1	Socket cap screw size M6	40	
2	Nut size M6	16	
3	Bolt size M4	4	
4	Timing belt size 507XH	1	
5	Bevel gear M2 45-15 teeth	1	
6	Motor DC 12V 36W	1	
7	PulleyA dia.100mm.	1	/
8	PulleyB dia.100mm.	1	/
9	PulleyC dia.100mm.	1	/
10	Smallpulley dia.70mm.	2	/
11	Bearing dia.20mm.	8	
12	Shaft dia.20mm.	4	/
13	Adjuster shaft dia.20mm.	1	/
14	Adjuster A	2	/
15	Adjuster B	2	/
16	Stud M10	2	/
17	Guard	2	/
18	Lower-plate	1	/
19	Upper-plate	1	/
20	Tube dia.33.8mm.	2	/
21	Spacer dia.20mm.	8	/
รวม (ขึ้นต่อ 1 ชุดล้อ)		101	

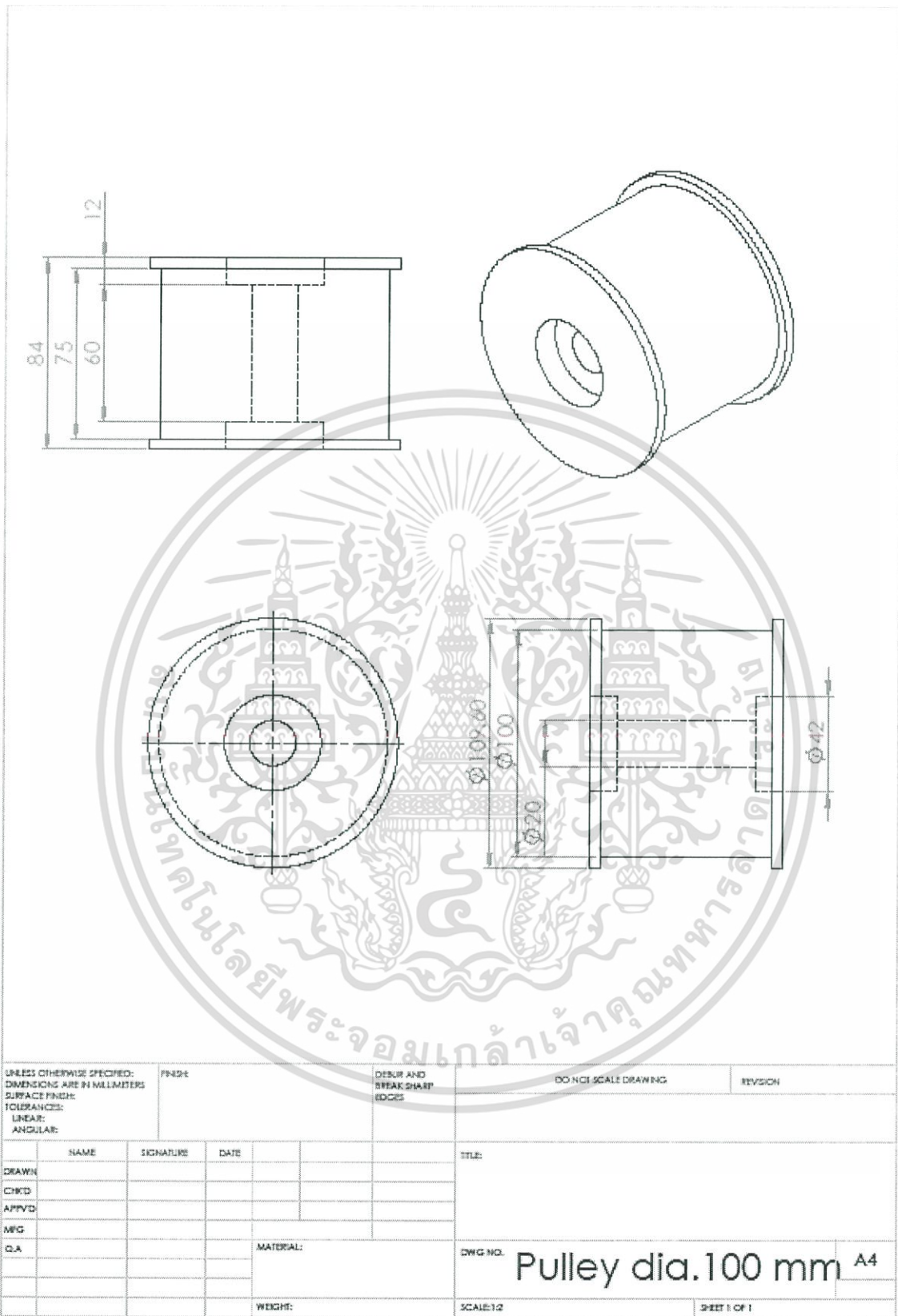
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



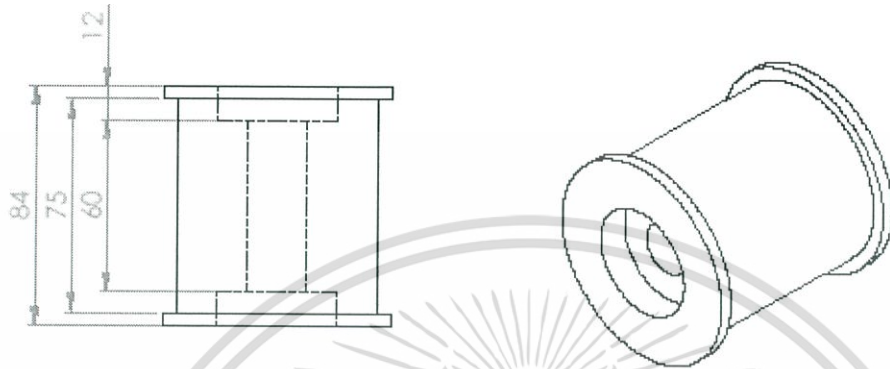
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

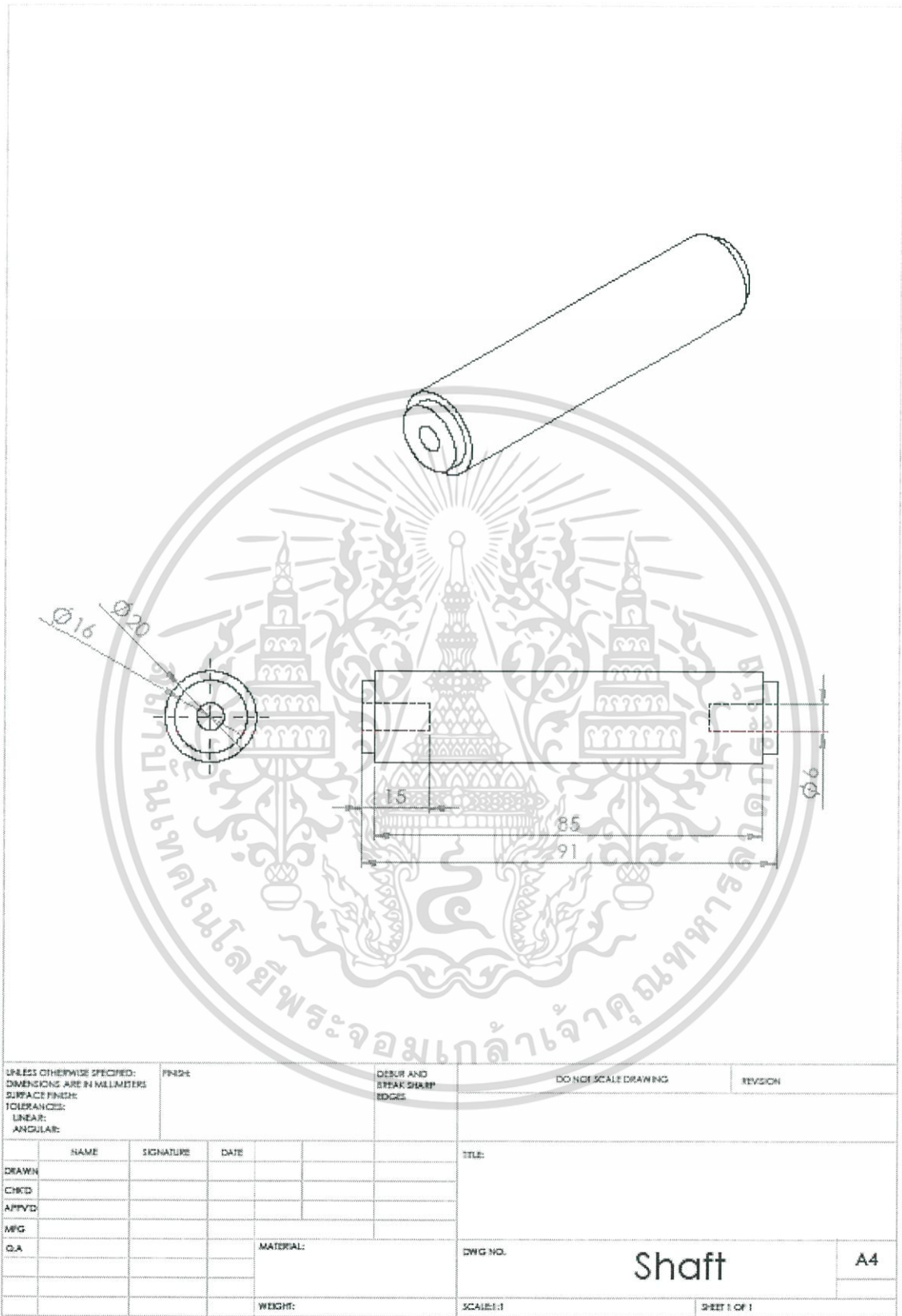


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

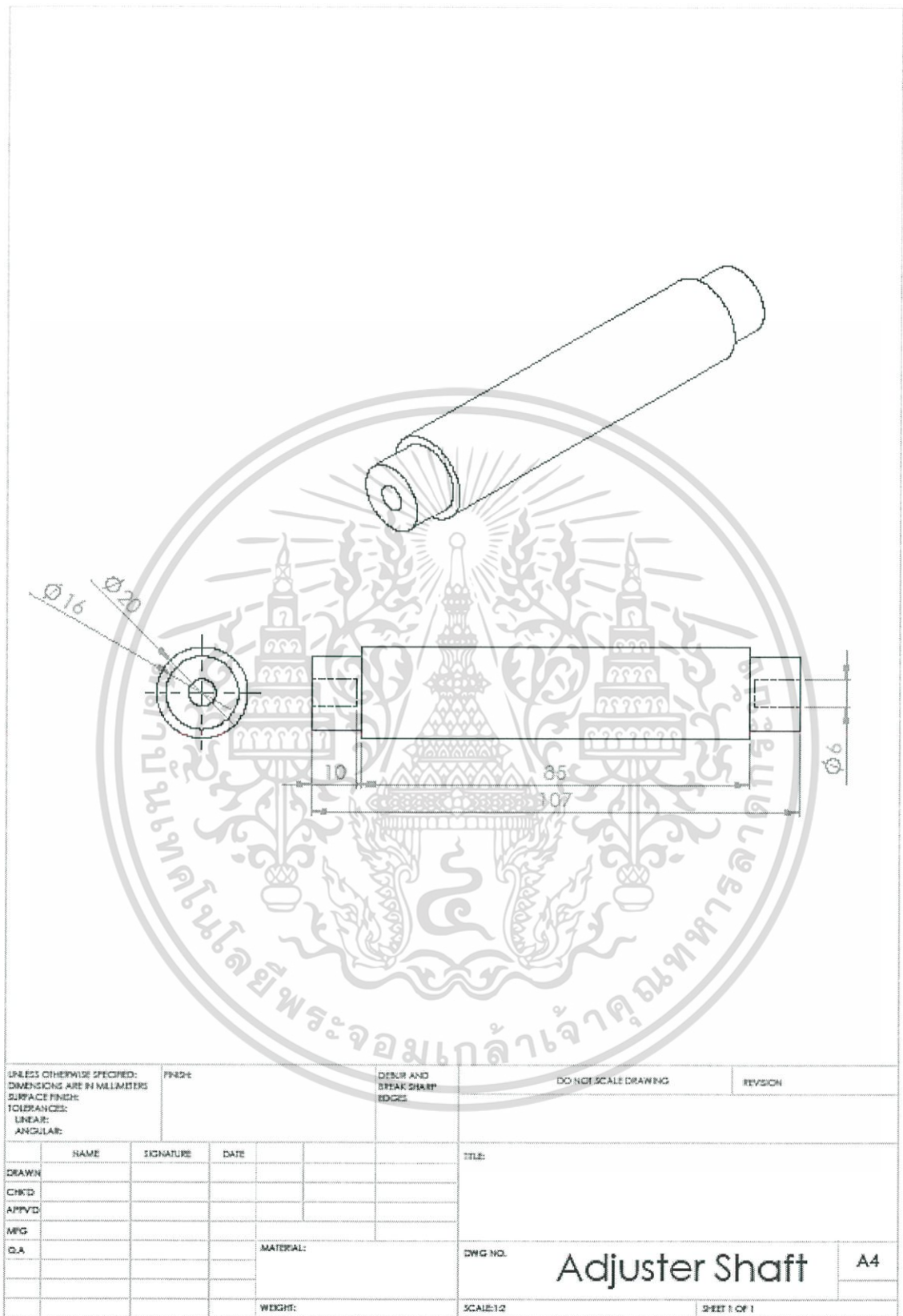


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
SURFACE FINISH:						
TOLERANCES:						
LINEAR:						
ANGULAR:						
	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:	
DRAWN						
CHECKED						
APPROVED						
WFG						
D.A				MATERIAL:	DWG NO.	A4
					Pulley dia.70	
				WEIGHT:	SCALE:1:2	SHEET 1 OF 1

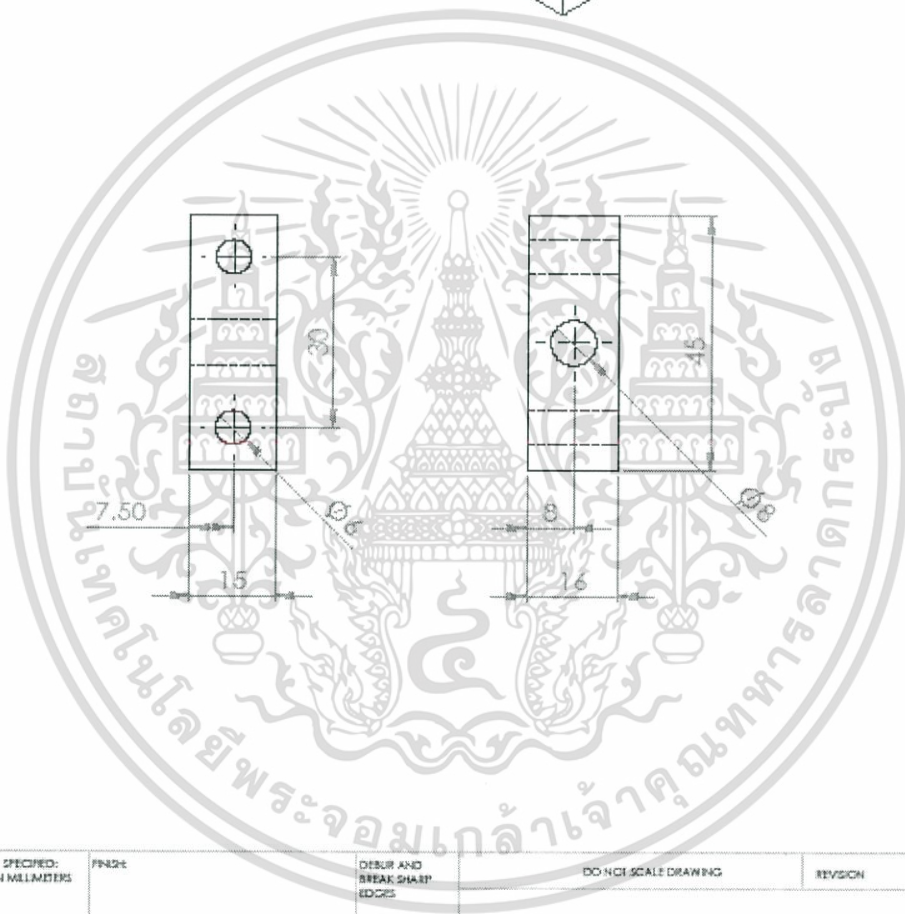
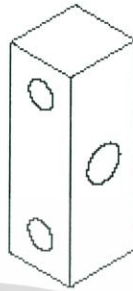
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

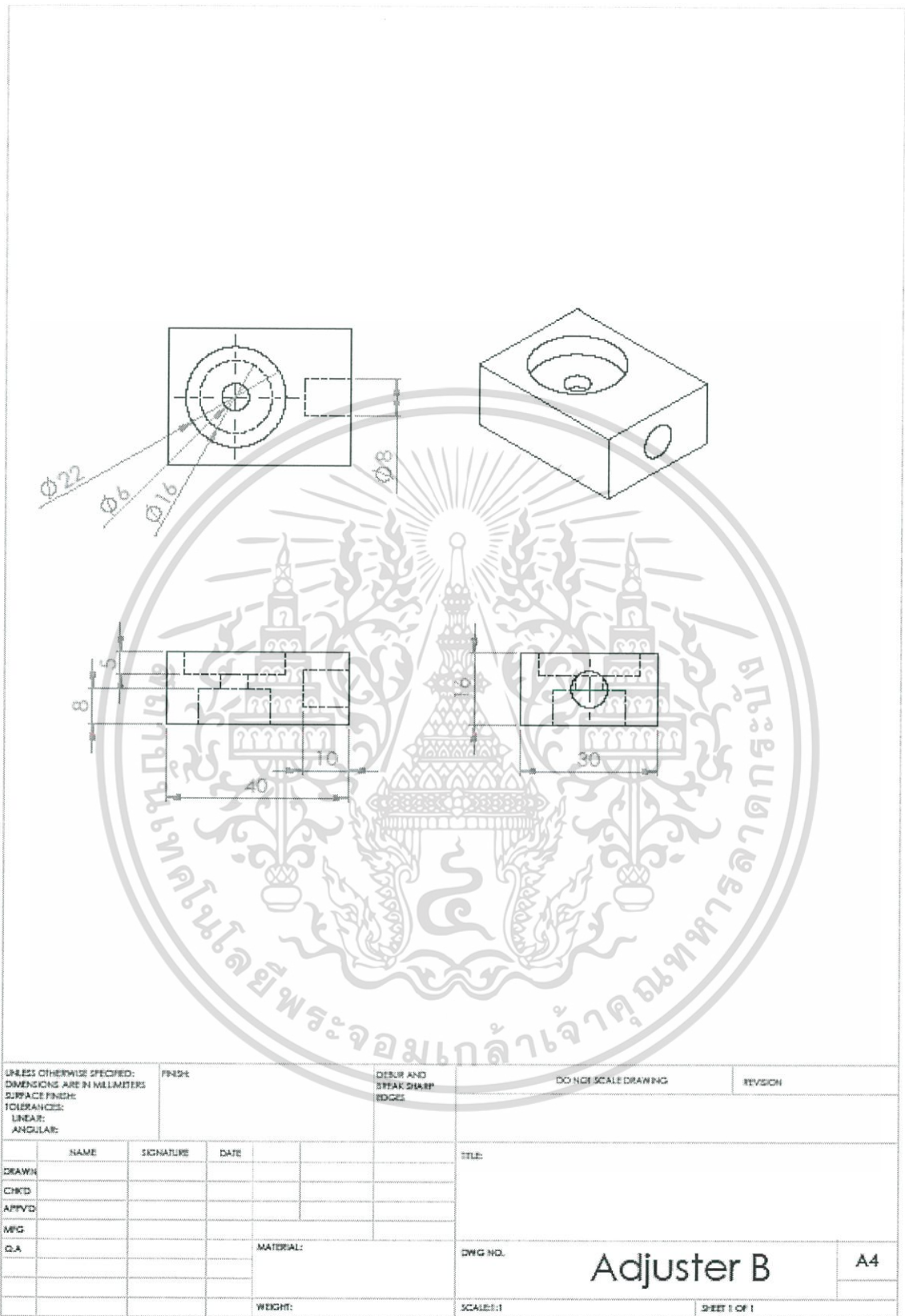


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:	
DRAWN					
CHECKED					
APPROVED					
MFG					
QA			MATERIAL:	DWG NO.	<b>Adjuster A</b>
			WEIGHT:	SCALE:1:1	A4
					SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

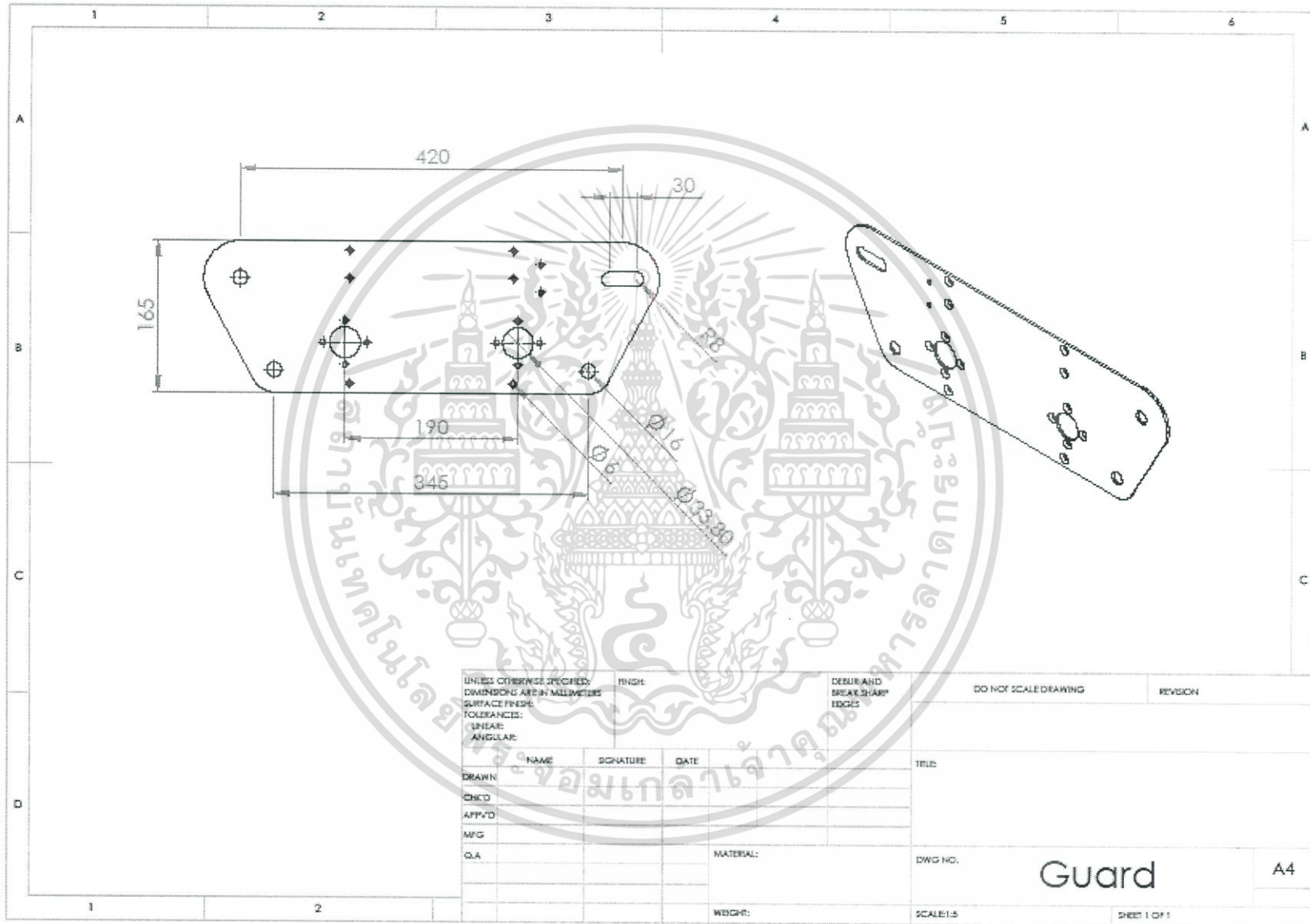


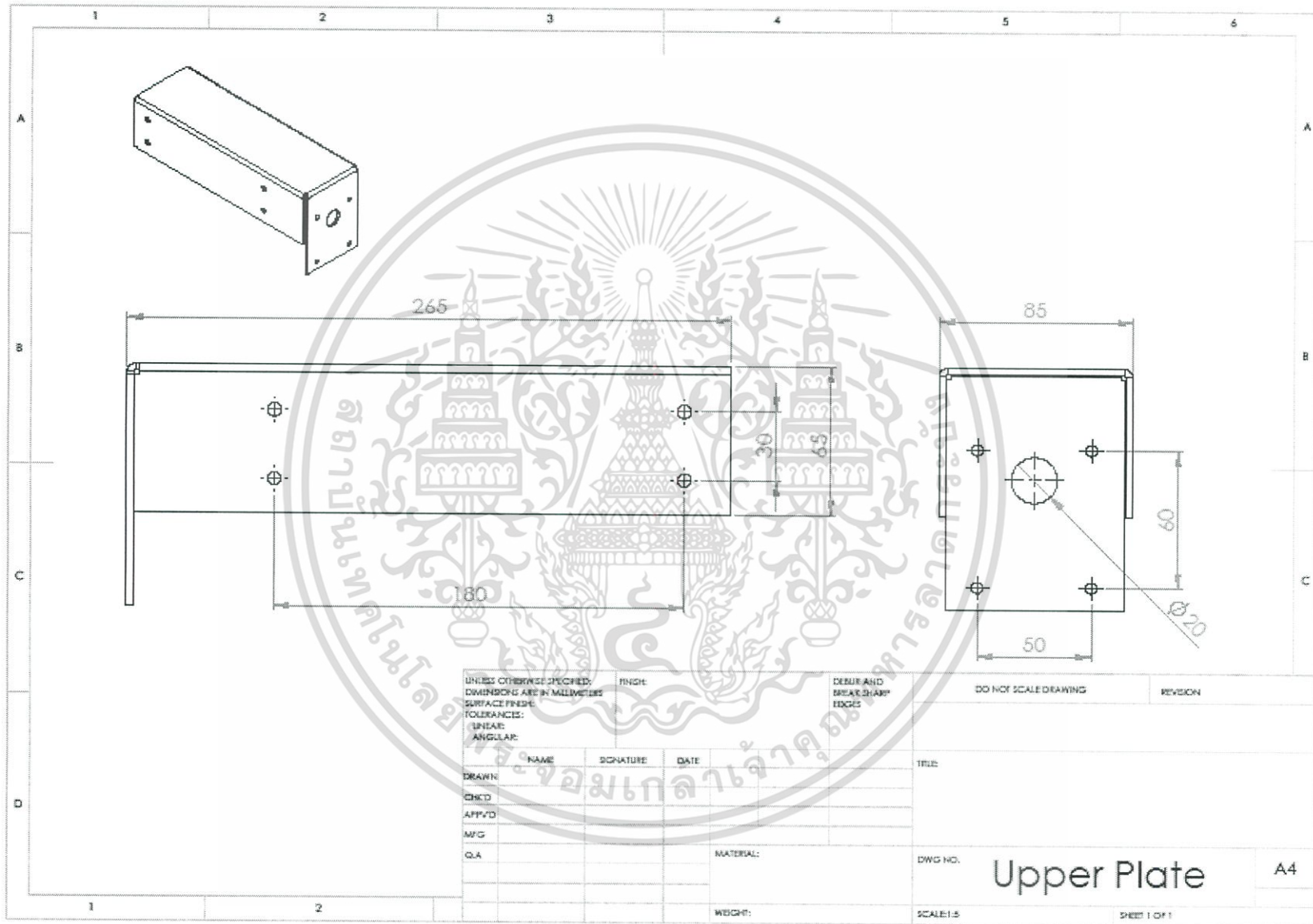
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

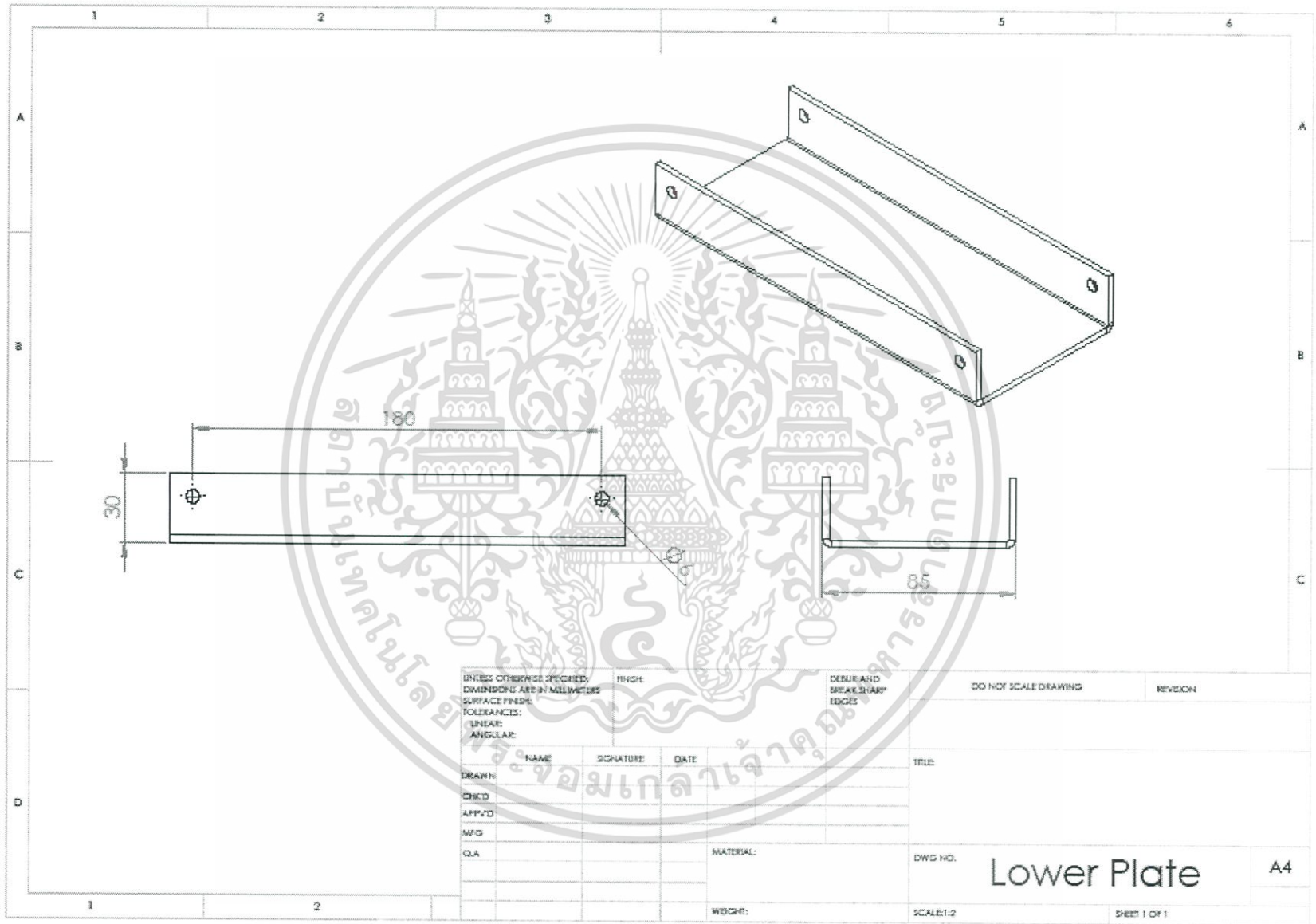
Technical drawing of a stud. The drawing shows a perspective view of the stud and a cross-sectional view. Dimensions are provided: 109 for the length of the main body and 120 for the diameter. A cross-section symbol is shown on the right side.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:			
DRAWN						
CHECKED						
APPROVED						
MFG						
D.A.			MATERIAL:	DWG NO.	Stud	A4
			WEIGHT:	SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DESUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN:		NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D:									
APP'VD:									
MFG:									
Q.A.:						MATERIAL:		DWG. NO. Tube	
						WEIGHT:		SCALE: 1:2	
								SHEET 1 OF 1	
								A4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN		SIGNATURE	DATE		TITLE:	
CHECKED					DWG. NO. <b>Spacer</b>	
APPROVED						
MFG.				MATERIAL:	A4	
Q.A.						
				WEIGHT:	SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้